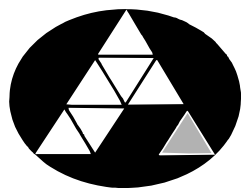


POHJOIS-KARJALAN AMMATTIKORKEAKOULU
Rakennustekniikan koulutusohjelma

Jussi Mertanen

KOSTEUSVAURIOALTTIIT RAKENTEET JA TYYPILLISET RA-
KENNUSVIRHEET 2000 – LUVULLA RAKENNETUISSA SUOMA-
LAISISSA PIENTALOISSA

Opinnäytetyö
Toukokuu 2012



POHJOIS-KARJALAN
AMMATTIKORKEAKOULU

OPINNÄYTETYÖ
Huhtikuu 2012
Rakennustekniikan koulutusohjelma

Karjalankatu 3
80200 JOENSUU

Tekijä
Jussi Mertanen

Nimeke
Kosteusvaurioalttiit rakenteet ja tyypilliset rakennusvirheet 2000 – luvulla rakennetuissa suomalaisissa pientaloissa

Toimeksiantaja Suomen Sisäilmakeskus Oy

Tiivistelmä

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää 2000 – luvulla rakennetuissa suomalaisissa pientaloissa esiintyviä kosteusvaurioalttiita rakenteita ja tyypillisiä rakennusvirheitä. Työ suoritettiin haastattelukyselyn, kirjallisuuskatsauksen ja rakenteiden kosteusteknisen mallintamisen avulla.

Rakennusterveys- ja kuntotutkimusalan ammattilaisille suunnatulla kyselyllä kerättiin tietoa mm. kosteusvaurioalttiista rakenteista, rakennusvirheistä, rakennusaikaisen valvonnan merkityksestä, rakennusaikaisen kosteuden merkityksestä sekä kiristyneiden energiavaatimusten vaikutuksesta rakentamisen laatuun. Kirjallisuuskatsauksessa puolestaan käsiteltiin mm. tiedossa olevia kosteusvaurioalttiita rakenteita ja rakennusaikaisen kosteudenhallinnan tärkeyttä. Rakenteiden kosteusteknisellä mallintamisella tutkittiin höyrynsulun sisäpuolelta osittain lämmöneristettyjen ulkoseinä- ja kate- ja katonrakenteiden lämpö- ja kosteusteknistä käyttäytymistä käyttö- ja rakennusaikaisissa olosuhteissa. Käytännön toteutusvaiheessa on havaittu lukuisia tapauksia, joissa ko. rakennetyypin kosteustekninen toiminta on ollut puutteellista: höyrynsulun sisäpintaan on talviaikaisissa rakennusolosuhteissa tiivistynyt kosteutta, mikä on johtanut rakenteiden kosteus- ja homevaurioitumiseen.


Työn lopputuloksena löydettiin lukuisia kosteusvaurioalttiita rakenteita ja tyypillisiä rakennusvirheitä. Kosteusvaurioalttiissa rakenteissa etenkin ulkoseinä- ja kate- ja katonrakenteet nousivat tutkimuksessa esiin. Rakennusvirheistä selkeästi merkittävimmin esiin nousivat kosteudenhallintaan ja rakennuksen vaipan ilmantilaytyteen liittyvät virheet. Kosteusteknisen tarkastelun perusteella höyrynsulun sisäpuolelta osittain lämmöneristettyihin ulkoseinä- ja kate- ja katonrakenteisiin liittyy kosteus- ja mikrobivaurioitumisriski talvirakennusaikaisissa olosuhteissa, kosteudenhallinnan ollessa puutteellista.

Toivon, että tästä työstä on hyötyä käytännön työkaluna, kartoitettaessa 2000 – luvulla rakennettujen pientalojen rakennusteknistä kuntoa ja selvitetäessä vaurioitumiseen johtaneita syitä.

Kieli
Suomi

Sivuja 48
Liitteet 3
Liitesivumäärä 30

Asiasanat
pientalo, 2000, kosteustekninen, riskirakenne, tyyppivirhe, kosteus- ja mikrobivaurio, mallinnus

 <p>NORTH KARELIA UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES</p>	<p>THESIS April 2012 Degree Programme in Civil Engineering Karjalankatu 3 FIN 80200 JOENSUU FINLAND</p>	
<p>Author Jussi Mertanen</p>		
<p>Title Structures Susceptible to Moisture Damage and Typical Building Defects in Finnish Detached Houses Built During the 21st Century.</p> <p>Commissioned by Finnish Indoorair Center Ltd.</p>		
<p>Abstract</p> <p>The subject of this thesis was to find out structures susceptible to moisture damage in detached houses built during the 21st century. The goal was also to find out typical building defects in detached houses. The information for this thesis was gathered with the help of literary research and survey directed to the professionals of the building investigation branch.</p> <p>The goal of the survey was to collect information about structures susceptible to moisture damage, typical building defects, the significance of supervision at the building site, the influence of tightened energy specifications and the influence of the moisture of the building phase. The key thing was to find out how these issues affect the quality of construction.</p> <p>The hygroscopic behavior of a few external wall structures were then modeled with the help of Dof Lämpö software. The modeling was focused on the inside of the vapour barrier in partially insulated external walls.</p> <p>As a result, many structures susceptible to moisture damage were found. The study also showed a great number of typical building defects which were primarily related to moisture control and air tightness of building envelope. The modeling of hygroscopic behavior of the external walls showed that there is a risk of moisture and mold damage in certain wall structures during the building phase in wintertime.</p> <p>This thesis can be used as a practical tool when investigating the technical condition of houses built during the 21st century.</p>		
<p>Language Finnish</p>	<p>Pages 48 Appendices 3 Pages of Appendices 30</p>	
<p>Keywords detached house, 21st century, moisture damage, mold, building defect, external wall</p>		

Sisältö

Alkusanat	5
Käsitteistöä	6
1 Johdanto	1
2 Haastattelukysely	2
2.1 Kyselyn sisältö, tavoite ja kohderyhmä	2
2.2 Kyselyn tulokset	2
2.2.1 Kosteusvaurioalttiit rakenteet	2
2.2.2 Tyypilliset rakennusvirheet	6
2.2.3 Rakennusaikaisen kosteuden merkitys	9
2.2.4 Rakennusaikaisen valvonnan ja kiristyneiden energiavaatimusten merkitys ..	9
2.3 Yhteenveto	10
3 Kirjallisuuskatsaus	12
3.1 Käsiteltävä kirjallisuus	12
3.2 Kosteusvaurioalttiit rakenteet	12
3.2.1 Ulkoseinärakenteet	12
3.2.2 Alapohjarakenteet	17
3.3 Kosteudenhallinta	18
3.4 Lämmönläpäisykertoimien kehitys	19
4 Työssä käytetty kosteustekninen mallinnusohjelmisto	21
5 Laskentateoria	22
5.1 Terminen paine-ero	22
5.2 Reiän kautta virtaava ilmamäärä	22
5.3 Sisäilman kosteus	23
5.4 Homeen kasvun malli	24
6 Mallinnettavien rakenteiden ja mallinnusolosuhteiden valinta	25
6.1 Mallinnettavat rakenteet	25
6.2 Mallinnusolosuhteet	26
6.2.1 Rakennusaikaiset olosuhteet	26
6.2.2 Käyttöolosuhteet	28
7 Rakenteiden kosteustekninen mallintaminen	29
7.1 Mallinnus käyttöolosuhteissa	29
7.2 Mallinnus rakennusaikaisissa olosuhteissa	30
8 Mallinnustulosten yhteenveto	33
8.1 Käyttöolosuhteet	33
8.2 Rakennusaikaiset olosuhteet	33
9 Pohdinta	38
Lähteet	40

Liitteet

Liite 1 Haastattelukyselylomake

Liite 2 Dof Lämpö – ohjelmiston mallinnustulokset

Liite 3 Ilman ominaisuuksia normaalipaineoloissa

Alkusanat

Ajatus opinnäytetyön aiheesta tuli nykyiseltä työnantajaltani, Suomen Sisäilmakeskus Oy:ltä, joka on ollut mukana toteuttamassa tutkielmia eri vuosikymmenien tyypillisimpien riskirakenteiden osalta. 2000 – luvulla tehtyjen pientalojen osalta kosteusteknisiä riskirakenteita ei kirjallisuudessa juuri ole käsitelty. Kuitenkin käytännön toteutusvaiheessa on havaittu lukuisia rakenteita, joiden kosteus- ja lämpötekniinen käyttäytyminen on eri olosuhteissa ollut puutteellista.

Työn toimeksiantajana toimii Suomen Sisäilmakeskus Oy. Yritys on valtakunnallisesti toimiva rakennusterveysalaan erikoistunut yritys, joka työllistää nykyisellään vakituisesti 20 sisäilma-alan ammattilaista. Suomen Sisäilmakeskus Oy tunnetaan luotettavana ja puolueettomana alan toimijana.

Työn ohjaajina toimivat Pohjois-Karjalan Ammattikorkeakoulun puolesta lehtori Petteri Härkönen ja toimeksiantajan puolelta toimitusjohtaja Jukka-Pekka Kärki. Haluan kiittää ohjaajiani arvokkaista neuvoista ja pitkästä kärsivällisyydestä työn valmistumisen suhteen. Vaikka alkuperäinen aikataulu työn toteutuksen suhteen venyi, ei työn valmistuminen ainakaan ohjaajista jäänyt kiinni.

Erityiskiitos myös yliopettaja Hannu Tyrväselle, jonka työhuoneen ovi oli kiireistä huolimatta aina avoinna rakennusfysikaalisille kysymyksille.

Joensuussa 24.5.2012

Jussi Mertanen

Käsitteistöä

Diffuusio. Rakennustekniikassa diffuusiolla tarkoitetaan vesihöyryn kulkeutumista rakenteiden läpi vesihöyryn osapaineen suhteessa. Kaikki materiaalit läpäisevät enemmän tai vähemmän vesihöyryä. Ilman absoluuttinen kosteus kertoo, kuinka paljon vesihöyryä ilmassa on. (Siikanen 1996, 54–56.)

Haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC= volatile organic compound). Esimerkiksi muovipinnoitteista haihtuvia, terveydelle haitallisia yhdisteitä, jotka suurina pitoisuuksina aiheuttavat tilojen käyttäjille terveyshaittaa (Asumisterveysopas 2009).

Höyrinsulku. Ainekerros, jonka pääasiallinen tehtävä on estää haitallinen vesihöyryn diffuusio rakenteeseen tai rakenteessa (Rakentamismääräyskokoelma C2 1998, 3).

Ilmanvaihto. Ilmanvaihdon pääasiallisena tehtävänä on poistaa sisäilman epäpuhtauksia ja tuoda asuntoon puhdasta korvausilmaa hallitusti, sekä ylläpitää hallittu paine-ero sisä- ja ulkoilman välillä (Asumisterveysopas 2009, 56).

Ilmanvuotoluku n_{50} . Rakennuksen vaipan ilmanvuotoluku 50 Pascalin painerolla. Kertoo, kuinka monta kertaa tunnissa rakennuksen sisäilma vaihtuu vuotoilmareittien kautta, kun sisä- ja ulkoilman välillä vallitsee 50 Pascalin ali- tai ylipaine (Suomen Rakentamismääräyskokoelma D5 2007, 5).

Kondensoituminen. Kondensoituminen on vesihöyryn tiivistymistä nestemäiseksi vedeksi. Se tapahtuu, kun ilman suhteellinen kosteus on 100 %. Kastepisteen ylittyessä rakenteissa oleva vesihöyry tiivistyy aina materiaalin kylmemmälle, kovemmalle pinnalle. Kondensoitumista aiheuttavat mm. kylmä lämpimään tilaan rajoittuva rakenteen pinta, kylmäsillat, puutteellinen höyrinsulku tai reiät höyrinsulussa. (Siikanen 1996, 57.)

Konvektio. Konvektio on ilmanpaine-eroista johtuvien ilmavirtausten aiheuttamaa kosteuden siirtymistä. Pakotettu konvektio tapahtuu ilmanpaine-erojen vaikutuksesta rakenteessa mahdollisesti olevien ilmavuotokohtien kautta. Kylminä vuodenaikoina esiintyvällä pakotetulla konvektiolla on rakenteiden kannalta suurin merkitys, sillä rakojen ja reikien läpi tapahtuvat ilmavirtaukset sisältä ulos voivat kuljettaa mukanaan moninkertaisia kosteusmääriä diffuusioon nähden (Siikanen 1996, 56).

Kriittinen kosteus. Kriittisellä kosteudella tarkoitetaan sellaista kosteuspitoisuuden maksimirajaa, jonka alittuessa rakennusaine toimii tyydyttävästi pitempiäkin aikoja. Kriittisen kosteusarvon ylittyessä rakennusaine voi vaurioitua pitempiaikaisessa kosteuskuormituksessa (Björkholz 1987, 60).

Lämmönläpäisykerroin U (U-arvo). Lämmönläpäisykerroin kuvaa lämpövirran tiheyttä, joka jatkuvuustilassa läpäisee rakennusosan, kun lämpötilaero rakennusosan eri puolilla olevien ilmatilojen välillä on yhden yksikön suuruinen. Yksikkönä $W/(m^2K)$ (Rakentamismääräyskokoelma C3 2010, 3).

Rakennekosteus. Rakennekosteudella tarkoitetaan rakennusmateriaaleihin valmistus-, kuljetus-, säilytys-, ja rakennusvaiheessa sitoutunutta kosteutta, joka rakenteesta poistuu, ennen kuin rakenne on kosteustasapainossa sitä ympäröivän ilman suhteen (Björkholz 1987, 51).

Riskirakenne. Kosteustekninen riskirakenne on rakenneosa, joka vaurioituu helposti joko veden vuotamisen, kapillaarisen veden kulkeutumisen, vesihöyryn liikkeen tai muun kosteuden vaikutuksesta (Pirinen 1999).

Suhteellinen kosteus. Ilman suhteellisella kosteudella (relative humidity, RH %) tarkoitetaan ilmassa olevan kosteusmäärän suhdetta kyllästyskosteuteen. Suhteellinen kosteus ilmoitetaan yleensä prosenttilukuna maksimikosteudesta (kyllästyskosteus) (Björkholz 1987, 5).

Terveyshaitta. Terveystensuojelulain 1§:ssä terveyshaitalla tarkoitetaan esimerkiksi asuinympäristössä olevasta tekijästä tai olosuhteesta aiheutunutta sairautta tai sairauden oiretta. Lain tarkoittamana terveyshaittana pidetään myös altistumista terveydelle haitalliselle aineelle tai olosuhteelle siten, että sairauden tai sen oireiden ilmeneminen on mahdollista. Tällainen tilanne saattaa syntyä esimerkiksi silloin, kun ihminen asuu tai oleskelee asunnossa, jossa hän voi altistua mikrobikasvustosta peräisin oleville soluille tai niiden aineenvaihduntatuotteille (Asumisterveysopas 2009, Terveystensuojelulaki 1994/763).

Vuotoilmavirtaus. Rakenteen läpi kulkeva ilmavirtaus (sisään tai ulos), joka ei kulje suunniteltujen ilmanvaihtoaukkojen tai -reittien kautta (Kovanen 2010).

1 Johdanto

Valtaosa 2000 – luvulla rakennetuista pientaloista on tehty suunnitelmien avulla, jotka täyttävät maankäyttö- ja rakennuslain sekä Suomen rakentamismääräyskokoelman vaatimukset terveellisestä, turvallisesta ja kosteus- ja lämpöteknisesti toimivasta asuinrakennuksesta. Näin ollen lähtökohtaisesti ajateltuna rakenteissa ei 2000 – luvulle tultaessa pitäisi enää esiintyä vakavia kosteusteknisiä puutteita. Tutkimuksissa ja käytännön toteutusvaiheessa on tullut kuitenkin ilmi lukuisia rakenteita, joiden lämpö- ja kosteusteknisessä toiminnassa on havaittu puutteita.

Tässä opinnäytetyössä pyrittiin selvittämään, millaisia kosteusvaurioalttiita rakenteita 2000 – luvulla tehdyissä pientaloissa esiintyy ja mikä vaurioitumisriskin aiheuttaa. Työssä pyrittiin myös selvittämään, millaisia tyypillisiä rakennusvirheitä pientalotyömailla esiintyy, ja millainen vaikutus virheillä onnistuneen lopputuloksen kannalta on. Lisäksi työssä selvitettiin mm. rakennusaikaisen kosteudenhallinnan merkitystä, työmaan valvonnan ja vastaavan työnjohtajan merkitystä sekä kiristyneiden lämmöneristysvaatimusten merkitystä rakenteiden kosteus- ja lämpötekniiseen toimintaan.

Työ toteutettiin kirjallisuuskatsauksen ja kuntotutkimus- ja rakennusterveysalan ammatillisille suunnatun haastattelukyselyn avulla.

Kirjallisuuskatsauksen ja haastattelukyselyn perusteella yhden kosteusvaurioalttiin ulkoseinärakennetyypin kosteus- ja lämpötekniistä käyttäytymistä tutkittiin mallinnusohjelmien avulla. Mallinnuksen tarkoituksena oli selvittää, miten rakenne käyttäytyy rakennus- ja käyttöaikaisissa olosuhteissa ja millainen vaurioriski rakenteeseen sisältyy. Lisäksi tutkittiin laskennallisesti rakenteen homehtumisherkkyttä.

2 Haastattelukysely

2.1 Kyselyn sisältö, tavoite ja kohderyhmä

Kuntotutkimus- ja rakennusterveysalan ammattilaisille suunnatun kyselyn tarkoituksena oli selvittää alalla yleisesti tiedossa olevia, 2000 – luvuilla tehdyissä pientaloissa esiintyviä, kosteusteknisiä riskirakenteita ja tyypillisesti esiintyviä rakennusvirheitä. Lisäksi haastateltavilta kysyttiin myös mm. rakennusaikaisen kosteuden merkityksestä pientalorakentamisessa, rakennusaikaisen valvonnan tärkeydestä sekä kiristyneiden energiavaatimusten vaikutuksista rakenteiden kosteusvaurioitumisherkkyyteen. Kyselyn tarkoituksena oli ensisijaisesti kerätä kokemuseräistä tietoa kuntotutkimuksia tekeville ihmisiltä: onko teoriassa kosteusvaurioitumisherkkinä pidetyissä rakenteissa todellisuudessa esiintynyt kosteus- ja mikrobivaurioitumista.

Kysely toteutettiin sähköpostitse haastateltaville lähetettynä PDF- lomakkeena maaliskuuhun aikaan. Kyselylomake löytyy kokonaisuudessaan tämän opinnäytetyön liitteenä (liite 1). Kysely lähetettiin 85 kuntotutkimus- ja rakennusterveysalan ammattilaiselle. Vastauksia saatiin yhteensä 11 kappaletta.

2.2 Kyselyn tulokset

Kyselyn vastauksissa ilmeni joitakin päällekkäisyyksiä eri kysymysten välillä, mikä osaltaan johtui kyselylomakkeen virheellisestä kysymysasettelusta: esimerkiksi useissa vastauksissa käsiteltiin riskialttiita rakenneosia ja tyypillisiä rakennusvirheitä sekaisin. Tästä syystä kyselyn tuloksia ei käsitellä kysymyskohtaisesti, vaan vastausten tulkinta on jaoteltu seuraaviin asiakokonaisuuksiin: kosteusvaurioalttiit rakenteet, tyypilliset rakennusvirheet, rakennusaikaisen kosteuden merkitys, rakennusaikaisen valvonnan merkitys ja kiristyneiden energiavaatimusten merkitys.

2.2.1 Kosteusvaurioalttiit rakenteet

2.2.1.1 Ulkoseinärakenteet

Haastattelututkimuksen vastausten perusteella 2000 – luvulla tehtyjen pientalojen ulkoseinärakenteissa on kosteusvaurioherkkiä rakenteita. Vaurioherkkyys korostuu etenkin rakennusaikaisen kosteuden vaikutuksesta: rakenteet voivat toimia rakennuksen käyttö-

olosuhteissa, mutta vaurioitua jo rakennusaikana, työmaan puutteellisen kosteudenhallinnan seurauksena.

Kaksi vastaajaa totesi puurankaisen, höyrynsulun sisäpuolelta osittain lämmöneristetyin, ulkoseinän olevan riskirakenne työmaaolosuhteissa (periaateleikkauskuva rakenteesta on esitetty kuvassa 5). Tämänkaltaisessa rakenteessa höyrynsulku jää yleensä n. 50 mm sisään eristekerroksen sisäpinnasta. Rakenne on yleisimpiä 2000- luvulla toteutettuja puurunkoisia ulkoseinärakenneratkaisuja.

Vastaajien mukaan rakenteen vaurioherkkyys on suurimmillaan rakennusaikana, etenkin talvirakentamisessa. Rakennusaikana keskeneräisen pientalon suhteellinen kosteus on korkea, johtuen pääasiassa rakenteiden kuivumisesta: rakennekosteutta on sitoutunut erittäin suuria määriä etenkin vasta valettuihin betonisiin alapohjarakenteisiin. Työmaan lämmityksen käynnistyttyä rakenteiden kuivaminen alkaa ja lämpötila sisällä nousee yleensä yli 20 celsiusasteeseen. Suhteellisen kosteuden arvo voi ensimmäiset kuukaudet olla hyvinkin korkea (60–90 RH- %), ja tilannetta pahentaa ilmanvaihdon riittämättömyys (rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmä otetaan nykyisin käyttöön vasta valmistumisen jälkeisen siivouksen jälkeen). Tällöin rakenteeseen muodostuu laskennallisestikin talvisin tiivistymisriski höyrynsulkumuovin sisäpintaan. Tiivistymisriski kasvaa etenkin viileämpien ulkonurkkien alueella, sekä epätiivelyskohtien ympärillä.

Tiiliverhoiltu, puurunkoinen ulkoseinärakenne oli kahden vastaajan mielestä kosteusvaurioaltis rakenne. Vaurioherkkyys perustuu viistosateen ja sulamisvesien aiheuttamaan kosteuskuormitukseen seinän alaosassa: kosteus pääsee kapillaarisesti siirtymään ulkoseinärakenteisiin tuuletusraon pohjalle jääneen muurauslaastin kautta. Rakenteen vaurioitumismekanismeja on käsitelty tarkemmin kirjallisuuskatsauksen yhteydessä, kohdassa 4.2.1.

18 prosenttia vastanneista piti massiivisia Siporex (höyrykarkaisumenetelmällä valmistettu kevytbetoni) – harkoista tehtyjä ulkoseinärakenteita kosteusvaurioalttiina rakenteina. Rakenteen kosteusvaurioalttius perustuu tiiviisiin sisäpuolisiin pinnoitteisiin. Viistosade ja sulamisvedet kastelevat seinärakenteen, joka siirtää kosteutta kapillaarisesti seinän sisäpintaa kohti. Tiivis sisäpinnoite estää kosteuden haihtumisen, jolloin tasoitekerroksen ja pinnoitteen kosteusvaurioitumisriski kasvaa.

Erään vastaajan mukaan ohutrapattu puurunkoinen ulkoseinärakenne on erityisen altis vaurioitumaan: kastuttuaan rakenteella on niin huono kuivamiskyky, että se mikrobivaurioituu ennen rakennekosteuden poistumista.

Erään vastaajan mukaan höyrynsuluttomat puurunkoiset ulkoseinärakenteet ovat riskialttiita rakenteita. Vastaajan mukaan ilmansulullisia rakenteita ei saada tarvittavan tiiviiksi, jolloin rakennuksen vaippaan jää merkittäviä ilmavuotokohtia. Rakennuksen vaipan ilmatiiveys on helpompi saavuttaa höyrynsulullisilla rakenneratkaisuilla.

2.2.1.2 Alapohjarakenteet

Vastaajien mukaan merkittävin 2000 – luvun pientalon alapohjien kosteusvaurioaltis rakenne on ryömintätilallinen, painovoimaisesti tuulettuva, puurakenteinen alapohjarakenne. Kosteusvaurioitumisriski liittyy juuri kesäaikaan, jolloin ryömintätilaan kulkeutuva ulkoilma viilenee maaperän viileyden vaikutuksesta. Tällöin ryömintätilan ilmatilan suhteellinen korkeus nousee korkealle, ja rakenteiden pinnalle muodostuu suotuisat olosuhteet mikrobien kasvulle. Suotuisissa olosuhteissa kosteus pääsee jopa tiivistymään rakenteiden pinnoille, jolloin vakaviakin kosteus- ja mikrobivaurioita pääsee syntymään suhteellisen lyhyellä aikavälillä.

Erään vastaajan mukaan perusongelmat ryömintätilallisissa rakenteissa ovat pysyneet samana jo 1950 – luvulta saakka: riittämätön ilmanvaihto, puutteellinen haihtumiseriste maanpinnassa ja orgaaninen rakennusjäte maan pinnalla. Vastaajan mukaan on olemassa lukuisia esimerkitapauksia siitä, että rakentamismääräyskokoelman määräykset täyttävän rossipohjarakenteen ilmanvaihto ei etenkään kesäolosuhteissa ole riittävä: ryömintätilaan jää etenkin nurkkien alueelle katvealueita, jossa ilma ei vaihdu riittävästi.

18 prosenttia vastaajista pitää myös ontelolaattarakenteisia alapohjia kosteusvaurioalttiina rakenteina. Onteloihin tiivistyy usein runsaasti kosteutta rakennusaikana ja joskus myös käyttöolosuhteissa. Tiiviiden läpivientien toteuttaminen ko. rakenteeseen on vastaajien mukaan erittäin hankalaa.

2.2.1.3 Yläpohjarakenteet

Haastattelukyselyssä merkittävimmäksi kosteusvaurioalttiiksi rakenteeksi nousi yläpohjien osalta lappeen suuntaisesti lämmöneristettyjen harjakattojen puutteellinen tuulettavuus. Periaatekuva rakenteesta on esitetty kuvassa 1.

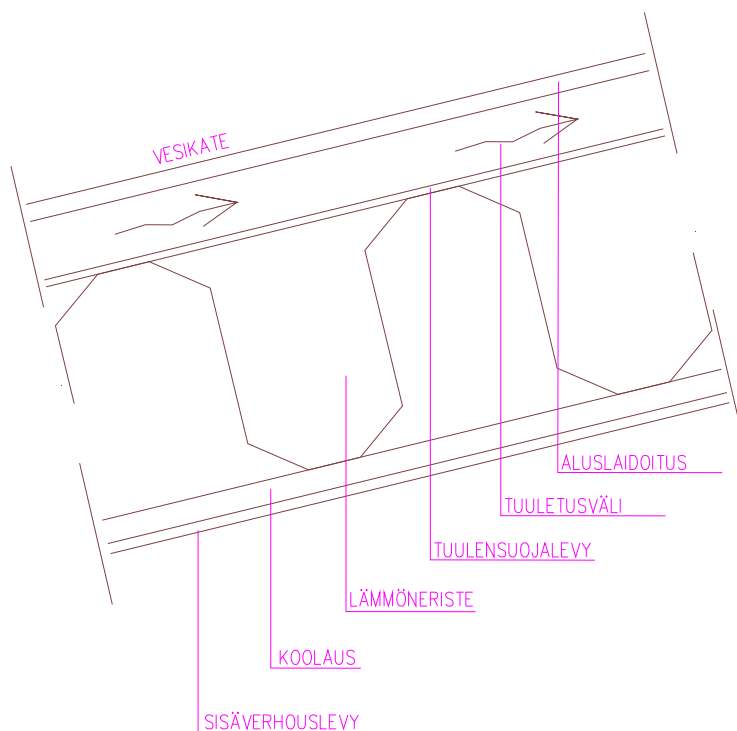
Lappeen suuntaisesti lämmöneristettyjä kattoja suunniteltaessa pyritään yleensä yläpohjarakenne suunnittelemaan mahdollisemman ohueksi: tällöin yläpohjan tuuletustilan korkeus jää usein pieneksi. Suunnitteluperusteena käytetään yleensä seuraavia RIL 107–2000 Rakennusten veden- ja kosteudeneristys -ohjeen mukaisia suositeltavia tuuletusvälin vähimmäiskorkeuksia (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry 2000, 49):

- kattokaltevuus alle 1:20, vähimmäiskorkeus 200 mm
- kattokaltevuus 1:20–1:5, vähimmäiskorkeus 100 mm
- kattokaltevuus yli 1:5, vähimmäiskorkeus 75 mm

Vähimmäiskorkeutta suunniteltaessa ei usein oteta huomioon tuuletusesteitä (tuennat, kattoikkunat yms.), jolloin tuulettavuus lappeen suunnassa estyy herkästi. Suositeltavat vähimmäiskorkeudet ovat erään vastaajan mukaan liian matalia, sillä jopa yli 100 mm tuuletusrakojen yhteydessä on havaittu merkkejä puutteellisesta tuulettavuudesta. Lisäksi matala tuuletusrako tukkeutuu helposti esimerkiksi virheellisesti asennetun tuulensuojalevyn takia. Rakentamismääräyskokoelman mukaan tuulettavuus ei saa tuuletusesteen vuoksi katketa siten, että rakenteeseen jää vain toiselta reunalta avoin tuuletusväli (Rakentamismääräyskokoelma C2 1998, 14).

Eräs vastaaja mainitsee kattoikkunoiden olevan pientaloissa pääsääntöisesti kosteusvaurioalttiita rakenteita. Kattoikkunat asennetaan pientaloissa yleensä lappeen suuntaisesti eristettyihin yläpohjiin, jolloin ne usein katkaisevat lappeen suuntaisen tuuletusraon. Lisäksi usein kattoikkunan liitos yläpohjaan ja vesikatteeseen on epätiivis, jonka seurauksena yläpohjarakenteisiin pääsee vuotoilmavirtausten mukana kosteaa sisäilmaa, sekä sade- ja sulamisvedet pääsevät valumaan rakenteisiin.

Erään vastaajan mukaan konesaumattu peltikate ilman aluskatetta on kosteusvaurioaltis rakenne. Peltikatteen alapintaan kondensoituu kosteutta, joka pääsee kulkeutumaan yläpohjarakenteisiin ja aiheuttaa etenkin eristerakenteisiin kosteus- ja mikrobivaurioita. Rakentamismääräyskokoelman osan C2 mukaan konesaumattun tai muuten tiiviisti saumattun peltikatteen alla tulee käyttää ”aluskatetta tai kosteutta sitovaa alusrakennetta, kuten yhtenäistä ruodelaudoitusta” (Rakentamismääräyskokoelma C2 1998, 13).



Kuva 1. Lappeen suuntaisesti lämmöneristetyin yläpohjarakenteen periaateleikkaus.

2.2.2 Tyypilliset rakennusvirheet

2.2.2.1 Rakenteiden tiiveys

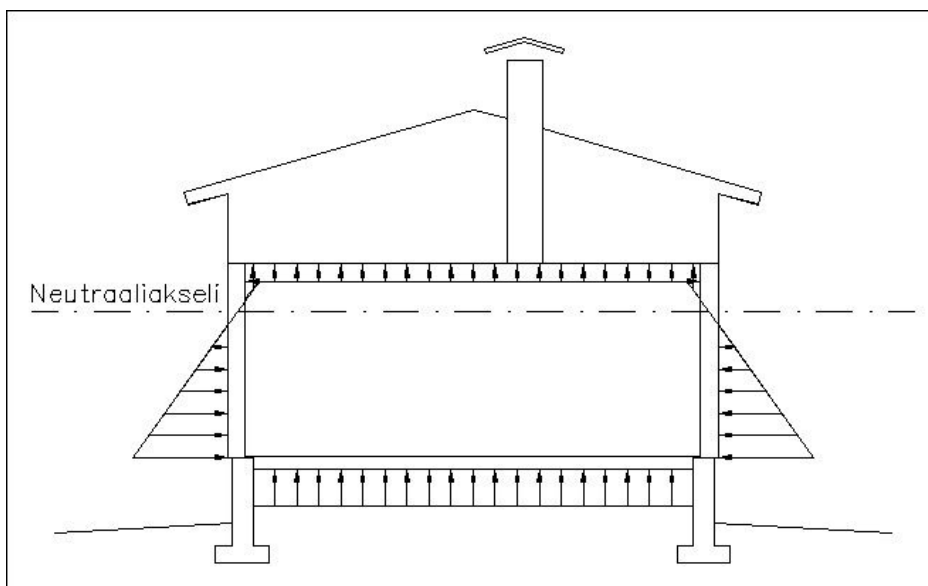
Vastausten perusteella merkittävimmäksi rakennusvirheeksi 2000 – luvun pientaloissa nousi rakenteiden tiiveys, jossa kaikkien vastaajien mukaan tehdään virheitä. Vastaajien mukaan rakenteiden ilmatiiveyden merkitys rakenteen toiminnan kannalta on merkittävästi kohonnut 2000 – luvulle tultaessa, johtuen kiristyneistä lämmöneristysvaatimuksista. Tyypilliset virheet kohdistuvat vastausten mukaan etenkin rakenteiden liitoskohtiin, joissa höyrinsulku- tai ilmansulkurakenteet eivät liity tiiviisti toisiinsa. Ongelmia on etenkin alapohja- ja ulkoseinärakenteen liitoskohdassa, ulkoseinä- ja yläpohjarakenteen liittymäkohdassa sekä hormien ja muiden läpivientien yhteydessä.

Rakenteiden ilmatiiveyden merkitys korostuu edellä mainituissa liitoskohdissa. Koneellinen ilmanvaihto yhdistettynä ulkoseinään kohdistuvaan savupiippuvaikutukseen aiheuttavat tavallisesti alipaineen seinän alaosassa ja vastaavasti ylipaineen seinän yläosassa (savupiippuvaikutuksen periaate on esitetty kuvassa 2): tällöin seinän ja alapohjarakenteen liitoskohdasta pyrkii ilmaa sisälle ja yläpohjarakenteen liitoskohtaan pyrkii puolestaan virtaamaan sisäilmaa. Jos liitokset eivät ole tiiviitä, pääsee sisäilmaan virtaamaan

haitallisia epäpuhtauksia rakenteista alapohjan liitoskohdasta, kun taas kosteaa ja lämmintä sisäilmaa pääsee virtaamaan vaurioherkkiin rakenneseisiin, kuten mineraalivillaisiin lämmöneristeisiin (Siikanen 1996, 32–33.)

Usean vastaajan mukaan tiivistysvirheitä tehdään yläpohjan läpivientien, kuten ilmanvaihtoputkien ja tulisijahormien, kohdalla. Ilmanvaihtoputkien läpiviennit tiivistetään ilman oikeaoppisia läpivientikappaleita esim. teippaamalla, jolloin liitoskohtiin jää merkittäviä epätiivelyskohtia. Tulisijahormien osalta tilanne on erään vastaajan mukaan vieläkin pahempi: hormia ei välttämättä tiivistetä ollenkaan yläpohjan höyrynsulkurakenteeseen: tämä aiheuttaa merkittäviä ilmavuotoja yläpohjarakenteisiin, joka korostuu etenkin tulisijaa lämmitettäessä. Paikallisiin epätiivelyskohtiin virtaa voimakkaasti kosteaa ja lämmintä sisäilmaa, joka jäähtyttyään tiivistyy rakenteisiin ja aiheuttaa kosteus- ja mikrobivaurioita etenkin lämmöneristekerroksissa.

Usean vastaajan mukaan detaljisuunnittelu eräiden liitoskohtien suhteen on usein puutteellista. Erityisen haasteellisten liitoskohtien osalta puutteelliset suunnitelmat voivat aiheuttaa vakavia rakennusvirheitä. Erityisesti puurakenteisen yläpohjan ja kivirakenteisen ulkoseinän liittymäkohdan sekä puolitoistakerroksisen pientalon välipohjan ja ulkoseinän liitoskohdan osalta ei usein ole työmaalla käytettävissä kunnollisia detaljipiirustuksia. Mainitut liitoskohdat ovat haastavia toteuttaa onnistuneesti tarkkojenkin suunnitelmien avulla, joten virheitä tavataan liittymäkohdissa usein.



Kuva 2. Savupiippuvaikutus rakennuksen ulkovaipassa.

2.2.2.2 Kosteudenhallinta työmaalla

Suurin osa vastaajista totesi, että kosteudenhallinnan puute on yksi tyypillisimmistä virheistä pientalotyömailla. Vastaajien mukaan pientalotyömailla ei useinkaan ole käytössä toimivaa kosteudenhallintasuunnitelmaa, vaan kuivatuskäytännöt perustuvat yleensä kokemuseräiseen tietoon.

Kosteusvaurioherkkiä rakenneosia ei suojata rakennusaikana sade- ja sulamisvesiltä. Eräs vastaajista mainitsee tyypilliseksi rakennusvirheeksi sen, että ulkoseinät saatetaan eristää mineraalivillalla ja kipsirakenteiset tuulensuojalevyt asentaa jo ennen rakennuksen kattamista. Tällöin mainitun kaltaiset kosteusvaurioherkät materiaalit vaurioituvat sade- ja sulamisvesien vaikutuksesta jo rakennushetkellä, ja rakenteisiin jää pysyviä kosteus- ja mikrobivaurioita.

Vastaajien mukaan rakennustarvikkeita säilytetään usein puutteellisesti, vailla asianmukaista suojasta sade- ja sulamisvesiä tai rakennusaikaista kosteutta vastaan. Tällöin useimmat rakennusmateriaalit pääsevät kostumaan ja vaurioitumaan jo ennen asennusta. Tyypillinen virhe on säilyttää vaurioherkkiä rakennustarvikkeita suoraan vasta valetun betonisen alapohjalaatan päällä, jolloin kosteus pääsee tiivistymään rajapintaan ja vaurioittamaan materiaalin.

Alapohjarakenteen pinnoittamisessa tehdään vastaajien mukaan merkittäviä rakennusvirheitä: seitsemän vastaajaa yhdestätoista kertoi havainneensa tässä asiassa puutteita. Alapohjarakenteen pinnoitettavuutta ei luotettavasti arvioida rakennekosteusmittausten avulla, joka usein johtaa siihen, että rakenne pinnoitetaan liian aikaisin. Alalla vallitsee erään vastaajan mukaan käsitys, että betoninen alapohjalaatta kuivaa aina n. 10mm viikossa. Korkean vesihöyrynvastuksen omaavilla pinnoitteilla (mm. muovimatto, askelääneneriste + laminaatti/parkettipinnoite) tämä johtaa yleensä pinnoitteen tai kiinnityksineen kosteus- ja mikrobivaurioitumiseen, sekä etenkin liimattujen muovimattojen osalta kemialliseen hajoamisprosessiin, jonka seurauksena sisäilmaan voi vapautua terveydelle haitallisia haihtuvia orgaanisia yhdisteitä (VOC) (Asumisterveysopas 2009).

Betonirakenteiden kuivuminen on monimutkainen prosessi, johon rakenneratkaisut ja kuivumisolosuhteet vaikuttavat oleellisesti. Betonirakenteen kosteutta voidaan arvioida erilaisten kuivumisaikakaavioiden avulla, joita on esitetty kirjassa Betonirakenteiden kosteusmittaus ja kuivumisen arviointi (Merikallio 2002, 39–57). Betonirakenteen kui-

vumiseen vaikuttavat kuivumisajan ja paksuuden ohella mm. betonimassan vesi/sideainesuhde, kuivumisolosuhteet, alustan rakenne ja rakenteen mahdollinen kastuminen (Merikallio 2002, 39). Betonirakenteen kuivuminen ei todellakaan noudata ”10 mm/viikko” – periaatetta.

2.2.3 Rakennusaikaisen kosteuden merkitys

Rakennusaikaisen kosteudenhallinnan merkitys korostuu vastaajien mukaan etenkin talvirakentamisessa. Useiden rakennetyyppien kohdalla syntyy kosteudenhallinnan laiminlyönnistä vakavia kosteus- ja mikrobivaurioita jo rakentamisvaiheessa.

Erään vastaajan mukaan pientalotyömailla ei usein ole toimivaa kosteudenhallintasuunnitelmaa, eikä asiaan kiinnitetä sen vaatimaa huomiota. Rakennusaikaisen kosteudenhallinnan merkitystä lopputuloksen kannalta vähätellään, koska rakenteiden oletetaan kuivavan viimeistään käyttöolosuhteissa. Vaikka rakenne muuttuisikin käyttöolosuhteissa rakennusfysikaalisesti toimivaksi ja rakenne kuivaisi, se ei poista rakennusaikana rakenteisiin jo muodostuneita kosteus- ja mikrobivaurioita. Mitä lähempänä rakennuksen vaiipan sisäpintaa vauriot ovat, sitä todennäköisemmin niistä aiheutuu haittaa rakennuksen käyttäjille (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto 2011, 163).

2.2.4 Rakennusaikaisen valvonnan ja kiristyneiden energiavaatimusten merkitys

Vastaajien mukaan suurin osa pientalotyömailla tehtävistä rakennusvirheistä pystyttäisiin estämään tehokkaan työmaavalvonnan avulla. Vastaajien arvioiden mukaan 50–95 % kaikista rakennusvirheistä estettäisiin tehokkaan työaikaisen valvonnan ja pätevän vastaavan työnjohtajan avulla.

Erään vastaajan mukaan vastaavalle työnjohtajalle tulisi kaikissa kunnissa asettaa vähimmäistuntimäärä, jolla hän joutuu valvontatehtäviään suorittamaan. Vastaajan mukaan joissain kunnissa on käytössä vastaavia järjestelmiä, joista on saatu positiivisia kokemuksia. Esimerkiksi Kuopion kaupungin rakennusvalvonta vaatii pientalon vastaavan työnjohtajan hyväksymisen yhteydessä todistuksen, että hänellä on lain ja asetuksen vaativien tehtävien hoitamiseen vähintään 160 tuntia käytettävissä (Kuopion alueellinen rakennusvalvonta 2012, 38). Suurimmassa osassa kuntia tällaista järjestelmää ei kuitenkaan ole käytössä, eikä kukaan valvo vastaavan työnjohtajan ajallista panosta työmailla.

Vastaajien mukaan kiristyneet lämmöneristysvaatimukset ovat johtaneet siihen, että rakennuksen vaipan tiiveyden merkitys on olennaisesti kohonnut.

2.3 Yhteenveto

Taulukossa 1 on esitetty yhteenveto haastattelututkimuksessa ilmenneistä kosteusvaurioalttiista rakenteista. Vasemmalla on esitelty rakenne ja siihen liittyvä kosteusvaurioitumisriski, oikealla prosenttiosuus vastanneista.

Taulukko 1. Yhteenveto kosteusvaurioalttiista rakenteista.

KOSTEUSVAURIOALTTIIT RAKENTEET	% vastanneista
<i>Ulkoseinärakenteet:</i>	
- Puuranka, höyrynsulun sisäpuolinen lisälämmöneristys RISKI: Kosteuden tiivistyminen höyrynsulkumuovin sisäpintaan	18
- Siporex -rakenne, tiivis sisäpinta RISKI: Kosteuden tiivistyminen tiiviin pinnoitteen alle	18
- Puuranka, tiiliverhous, laastipurseet alalaidassa RISKI: Viistosade, kosteuden kapillaarinen siirtyminen tuulensuoja- ja eristerakenteisiin	18
- Puuranka, ohutrappausrakenne RISKI: Rakenteiden vaurioituminen rakennusaikana, puutteellinen kuivumiskapasiteetti	9
- Höyrynsuluttomat rakenteet RISKI: Riittämätön vaipan ilmantiiveys, hallitsemattomat ilmavuodot	9
- Perusmuurin yläpinta lattiatason korkeudella RISKI: Kylmäsilta, hallitsemattomat ilmavuodot	9
<i>Alapohjarakenteet:</i>	
- Ryömintätilallinen alapohja, tiiveys ja tuulettuvuus RISKI: Kesäisin ryömintätilan lämpötilan lasku, kosteuden tiivistyminen alapohjarakenteisiin	55
- Ontelolaattarakenteiset alapohjat RISKI: Rakennusaikaisen kosteuden tiivistyminen ontelorakenteisiin	18
<i>Yläpohjarakenteet:</i>	
- Jyrkät yläpohjat, puutteellinen tuulettuvuus RISKI: Kosteuden kondensoituminen ja valuminen lämmöneristekerrokseen	27
- Konesaumattu kate ilman aluskatetta RISKI: Kondenssivesien tiivistyminen katteen alapintaan ja valuminen yläpohjarakenteisiin	9
- Kattoikkunat RISKI: kosteuden tiivistyminen, puutteellinen tuulettuvuus, vesivuotojen riski	9

Taulukossa 2 on esitetty yhteenveto haastattelukyselyn tuloksista tyypillisimpien rakennusvirheiden osalta.

Taulukko 2. Yhteenveto tyypillisimmistä rakennusvirheistä.

TYYPILLISET RAKENNUSVIRHEET	% vastanneista
Ulkovaipan tiiveys	100
Pinnoitettavan betonialustan kosteus	64
Ilmanvaihdon virheellinen säätö	36
Ontelolaatta-alapohjien läpivientien ja lämmöneristyksen toteutus	27
Alapohja- ja ulkoseinärakenteen liitos	27
Kivirakenteisen ulkoseinän ja puurakenteisen yläpohjan liitos	18
Ryömintätilallisen alapohjarakenteen ilmanvaihto	18
Välipohjan liittyminen ulkoseinärakenteeseen	9

3 Kirjallisuuskatsaus

3.1 Käsiteltävä kirjallisuus

2000 – luvulla rakennettujen pientalojen riskirakenteita ei kirjallisuudessa juuri käsitellä, joka osaltaan johtuu siitä, että pääosa käytetyistä rakenneratkaisuista täyttää Suomen rakentamismääräyskokoelman vaatimustason.

Tässä kirjallisuuskatsauksessa käsittelen pääosin ympäristöministeriön kosteus- ja hometalkoot – projektin yhteydessä julkaistua opetusmateriaalia Tunnista ja tutki riskirakenne (Kosteus- ja hometalkoot 2012). Rakennus- ja kuntotutkimusalan opettajille suunnatussa opetusmateriaalissa on havainnollisesti käsitelty kosteusvaurioalttiita rakenneratkaisuja, joista joitain on ollut käytössä 2000 – luvulla. Tuulettuvien alapohjarakenteiden osalta käydään läpi Jarek Kurnitskin väitöskirjan “Humidity control in outdoor-air-ventilated crawl spaces in cold climate by means of ventilation, ground covers and dehumidification” keskeistä sisältöä (Kurnitski 2001).

Työmaan kosteudenhallintaan liittyvästä kirjallisuudesta käsitellään mm. Rakennusinsinöörien Liiton julkaisemaa Kosteudenhallinta ja homevaurioiden estäminen – opasta RIL 250–2011 (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry 2011). Lämmöneristysten kiristyneitä vaatimuksia tarkastellaan Suomen rakentamismääräyskokoelman osan C3: Rakennuksen lämmöneristys, määräykset (Rakentamismääräyskokoelma C3 2003, 2007, 2010) kehityksen osalta.

3.2 Kosteusvaurioalttiit rakenteet

3.2.1 Ulkoseinärakenteet

Tiiliverhoiltu, puurunkoinen ulkoseinärakenne on tyypillinen suomalainen pientalon rakenneratkaisu. Rakenne on tyypillisesti mineraalivillaeristeinen, ja sisäverhous- ja tuulensuojalevyt ovat kipsilevyjä. Rakenteen periaatteellinen leikkauskuva on esitetty kuvassa 3.

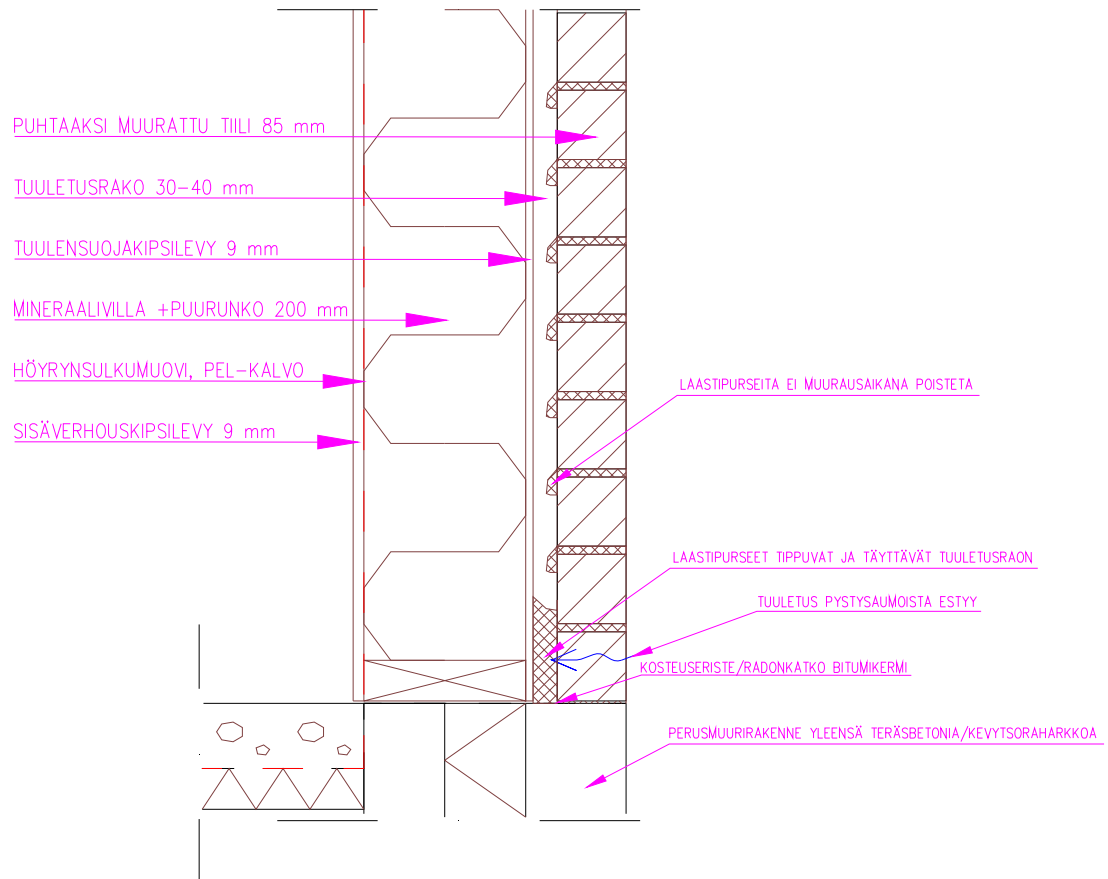
Kuvan kaltaisen tiiliverhouksen tuulettavuus toteutetaan nykyisin yleensä jättämällä alimmasta tiilikerroksesta joka kolmas pystysauma auki. Rakenteen kosteusvaurioalttiutta johtuu tiilimuurauksen yhteydessä tuuletusrakoon tippuvista laastipurseista.

Laastipurseet täyttävät tuuletusraon alaosan, jolloin tuulettavuus pystysaumoista estyy. Viistosade tai sulamisvedet kastelevat tiiliverhouksen alaosan, jolloin kosteutta siirtyy kapillaarisesti tiiliverhouksesta alas pudonneeseen muurauslaastikerrokseen. Muurauslaastikerros on tällöin usein suorassa kosketuksessa tuulensuojakipsilevyyn, joka vaurioituu kosteuden vaikutuksesta: kosteus pääsee kipsilevyn läpi imeytymällä kulkeutumaan myös vaurioalttiiseen mineraalivillakerrokseen. Perusmuurin päällä oleva kosteudeneriste ei päästä kosteutta siirtymään perusmuuriin, ja tuulettavuuden estyessä muurauslaastiin sitoutunut kosteus kulkeutuu rakenteisiin. Vesi voi lisäksi valua kosteudeneristeen pintaa pitkin alaohjauspuuhun (Kosteus- ja homealkoot 2012, 20-22).

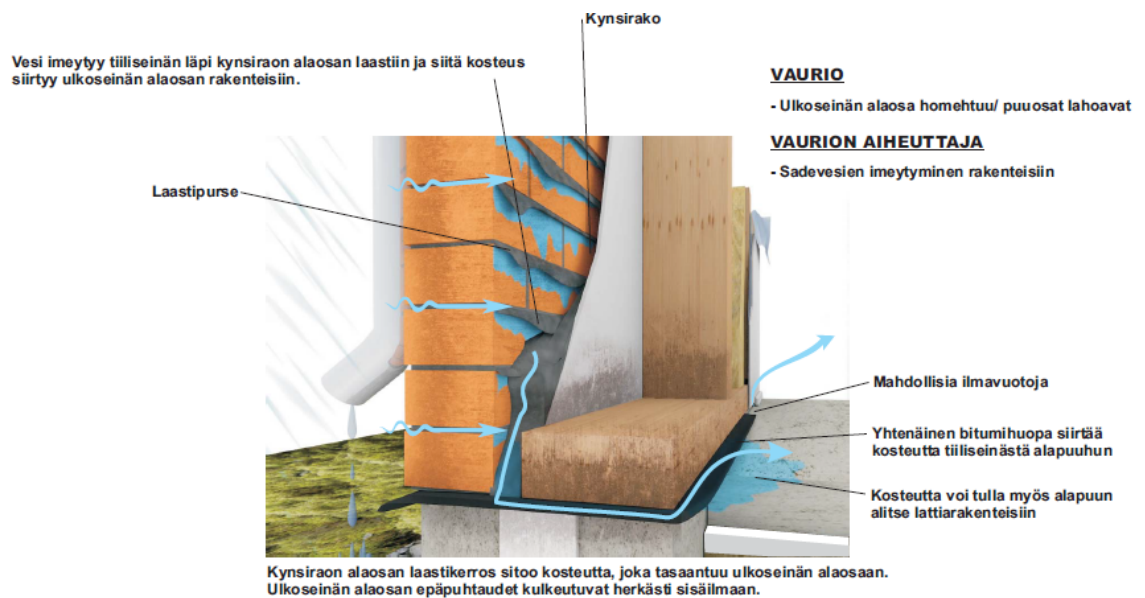
Rakenteen vauriomekanismi on esitetty kuvassa 4. Rakenteeseen mahdollisesti syntyvät kosteus- ja mikrobivauriot voivat aiheuttaa tilojen käyttäjille terveyshaittaa: riski kohoa oleellisesti, jos rakenteessa on epätiiveyskohtia, joiden kautta sisätiloihin tulee hallitsemattomia vuotoilmavirtauksia. Vuotoilmavirtauksien mukana sisäilmaan voi kulkeutua terveydelle haitallisia mikrobeja tai niiden aineenvaihduntatuotteita (Asumisterveysopas 2009). Tilannetta pahentaa koneellisen ilmanvaihdon ja hormivaikutuksen aikaansaama alipaine ulkoseinän alaosassa.

On huomattavaa, ettei tiiliverhouksen taakse jääneitä laastipurseita ei pääsääntöisesti poisteta nykyisinkään, vaikkei se teknisesti kovin haastavaa olekaan. Riski voitaisiin välttää esimerkiksi jättämättä joka neljäs alimman tiilikerran tiili muuraamatta: verhous tehtäisiin ylös asti, jonka jälkeen aukoista poistettaisiin tuuletusrakoon tippunut muurauslaasti kaapimalla pois. Tämän jälkeen aukot muurattaisiin umpeen, jolloin tuulettavuus verhouksen takana varmistettaisiin.

Rakenteen kosteusvaurioalttiutta arvioitaessa on kuitenkin otettava huomioon, että tuuletusraon pohjalle jää muurauslaastia usein vain paikoittain, jolloin mahdollisesti syntyvät vauriot jäävät myös paikallisiksi. Laajuudeltaan pienet kosteus- ja mikrobivauriot eivät yleensä aiheuta tilojen käyttäjille merkittävää terveyshaittariskiä, mikäli ulkovaipan höyrynsulkurakenne on tiivis, eikä sisäilmaan näin ollen pääse kulkeutumaan haitallisia vuotoilmavirtauksia.



Kuva 3. Tiiliverhotun, puurunkoisen ulkoseinän periaateleikkauskuva.



Kuva 4. Tiiliverhotun rakenteen vaurioitumismekanismi. (Kosteus- ja home-talkoot 2012, 22)

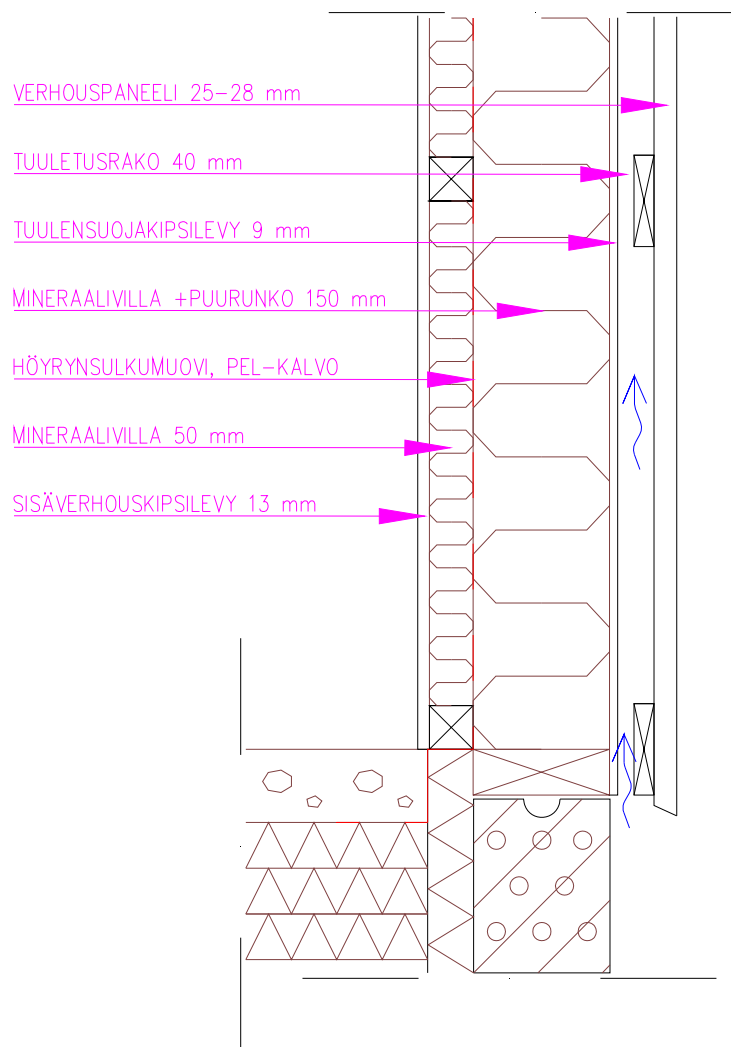
Puurunkoinen, höyrynsulun sisäpuolisella vaakakoolauksella ja lämmöneristyksellä varustettu ulkoseinärakenne on tyypillisimpiä rakenneratkaisuja 2000 –luvun pientaloissa. Rakenneratkaisua on käyttänyt pitkään mm. kappalemäärissä myydyimpiin lukeutuva talopakettitoimittaja. Periaateleikkauskuva rakenteesta on esitetty kuvassa 5.

Kyseistä rakenneratkaisua tehtiin ennen vuotta 2010 yhteensä 200 mm eristepaksuudella, joka täytti vuosina 2003 ja 2007 voimaan tulleiden rakentamismääräyskoelman osan C3 määräykset ulkoseinän lämmönjohtavuudelle. Rakenteessa 150 mm lämmöneristeestä oli höyrynsulun ulkopuolella ja 50 mm sisäpuolella. Vuonna 2010 voimaan tulleen C3 –osan kiristyneet vaatimukset nostivat kokonaiseristepaksuuden 250 millimetriin (200 mm höyrynsulun ulkopuolella, 50 mm sisäpuolella). Lämmöneristysvaatimukset rakenteiden osalta on esitelty tarkemmin kohdassa 4.4 (Rakentamismääräyskokoelma C3 2007 ja 2010).

Rakenne toimii kosteusteknisiltä ominaisuuksiltaan käyttöolosuhteissa pääasiassa moitteettomasti. Rakenteen kosteusvaurioitumisriski on suurimmillaan rakennusaikana, etenkin talvirakentamisessa: sisäilman suhteellisen kosteuden ollessa korkea, muodostuu rakenteeseen kosteuden kondensoitumisriski höyrynsulkumuovin sisäpintaan (Kosteus- ja homealkoot 2012, 41). Riskiä on havaittu etenkin sisäpuolisen vaakaan asennetun koolauksen yhteydessä.

Kosteuden kondensoituessa höyrynsulkumuovin pintaan, pyrkii nestemäinen vesi joko imeytymään sisäpuoliseen mineraalivillakerrokseen ja puihin koolausrimoihin, tai valumaan seinän alaosaan. Kun kosteuden tuotto sisätiloissa on voimakasta, kondensoituu talviolosuhteissa kosteutta nopeasti valuvaksi vedeksi asti (Kosteus- ja homealkoot 2012, 42). Erityisen alttiita rakenneosia tässä tapauksessa ovat puiset koolausrimat ja paperipintaiset sisäverhouskipsilevyt, jotka molemmat luokitellaan herkästi homehtuviksi materiaaleiksi (Lähdesmäki, Salminen, Vinha, Strander, Viitanen, Paajanen, Iitti, Ojanen, & Peuhkuri 2009, 247). Tilanteen kaltaisissa suotuisissa olosuhteissa ($T \sim 20^{\circ}\text{C}$, $\sim 100 \text{ RH-\%}$) mikrobikasvustoa voi kehittyä jo alle viikossa. Höyrynsulun sisäpuoliset rakenneosat ovat käytännössä kosketuksissa sisäilmaan, mistä johtuen rakenteissa piilevät mikrobi-itiöt ja niiden aineenvaihduntatuotteet voivat kulkeutua sisäilmaan: tällöin tilojen käyttäjille voi aiheutua terveydensuojelaisissa määritellyä terveyshaittaa (Terveydensuojelaki 1994/763).

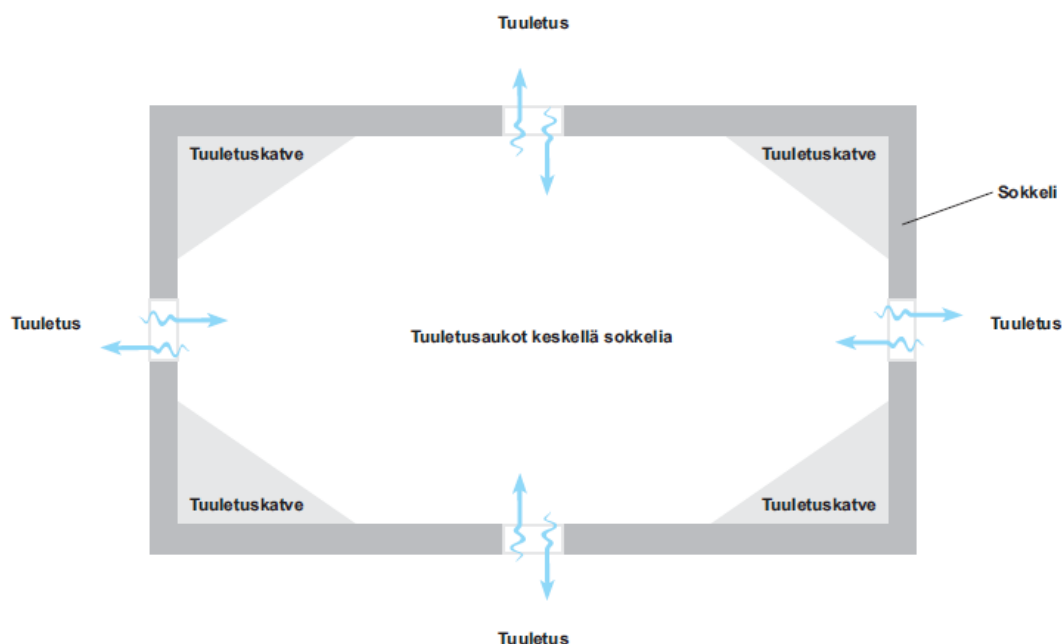
Talvirakentamisessa olosuhteet ovat haastavat. Rakennuksen lämmittäminen aloitetaan yleensä ulkovaipan valmistuttua. Betonirakenteiden kuivumisen oletetaan alkavan vasta, kun vesikatto on valmis, ikkunat asennettu ja lämmitys käynnistetty (Merikallio 2003, 36). Tällöin kuivatettavan tilan kosteudentuotto on lyhytaikaisesti erittäin suurta: esimerkiksi betonirakenteiden kuivumisnopeuden arvioidaan alussa olevan n. $9 \text{ g/m}^2 \times \text{h}$ (Björkholz 1990, 26). Pinta-alaltaan 150 m^2 rakennuksessa tämä tarkoittaa sitä, että tunnissa kosteutta vapautuu sisäilmaan $9 \text{ g/m}^2 \times \text{h} \times 150 \text{ m}^2 = 1350 \text{ g/h}$. Vuorokauden aikana pelkän alapohjan kosteustuotto on täten $1350 \text{ g/h} \times 24 \text{ h} = 32,4$ litraa. Määrä on suuri jo pelkästään betonirakenteen osalta ja korostaa kosteudenhallinnan tärkeyttä työmaaolosuhteissa.



Kuva 5. Periaateleikkauskuva, höyrynsulun sisäpuolinen lisälämmöneristys.

3.2.2 Alapohjarakenteet

Ryömintätilallinen alapohjarakenne oli 1960 – luvulle saakka yleisin alapohjarakenne suomalaisissa pientaloissa. Nykyisin valtaosa pientalojen alapohjarakenteista on maanvaraisia, mutta myös ryömintätilallisia alapohjia rakennetaan (Pohjois-Pohjanmaan korjauskeskus 2005, 2). Periaatekuva ryömintätilallisen alapohjarakenteen tuulettuvuudesta on esitetty kuvassa 6.



Kuva 6. Ryömintätilallinen alapohjarakenne, tuulettuvuusperiaate (Kosteus- ja homealkoot 2012, 89).

Merkittävin kosteusvaurioriski ryömintätilallisissa rakenteissa on riittämätön tuuletus. Rakentamismääräyskokoelman mukaan ryömintätilan tuuletusaukkojen yhteispinta-alan tulee olla vähintään 4 % ryömintätilan pinta-alasta (Rakentamismääräyskokoelma C2 1998, 9). Tällöin ryömintätilaan muodostuu tuuletuksellisia katvealueita, joissa ilman vaihtuvuus on heikkoa. Katvealueita jää esimerkiksi nurkkien läheisyyteen (ks. kuva 6).

Kesällä ulkoilman suhteellinen kosteus kohoaa usein yli 80 RH - %. Ryömintätilaan tullessa ilma yleensä jäähtyy hieman, jolloin sen suhteellinen kosteus kohoaa. Kesällä ryömintätilan ilman tulisi vaihtua jopa 2-3 kertaa tunnissa, jotta kosteusvaurioriskeiltä välttyttäisiin. Painovoimaisesti toimiva ilmanvaihto ei riittävän luotettavasti tätä lukea täytyä, vaan turvallisoin tapa varmistua ilmanvaihdon toimivuudesta on varustaa tuuletettava tila koneellisella tulo- poistoilmanvaihdon (Kurnitski 2001).

3.3 Kosteudenhallinta

Kuten on käynyt ilmi, kosteudenhallinnan merkitys rakennushankkeen laadukkaan lopputuloksen kannalta on oleellisen tärkeää. Ymmärrys asiaa kohtaan on kasvanut, ja useiden kuntien rakennusvalvonnat ovat julkaisseet rakentajille suunnattuja kosteudenhallintaohjeita. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry on julkaissut aiheeseen liittyen ohjeen RIL 250–2011 Kosteudenhallinta ja homevaurioiden estäminen. Ohje kuvaa yksityiskohtaisesti sekä rakentamisen kosteudenhallinnan kokonaisprosessia, että esittää yleisiä suunnittelu- ja toteutusperiaatteita kosteudenhallintaan. Yksi ohjeen keskeisimmistä tavoitteista on kosteus- ja mikrobivaurioiden ennalta ehkäiseminen.

Työmaavaiheen kosteudenhallintasuunnitelma voi muodostua esimerkiksi seuraavista asiakokonaisuuksista: hankkeen yleistiedot, laatutavoitteet kosteudenhallinnalle, kosteusriskien kartoitus, rakenteiden kuivumisaika-arviot, olosuhteiden hallinta, valvonta ja kosteusmittausuunnitelma sekä erityisohjeet kosteusteknisesti vaativien rakenteiden toteutukseen. Olennaista työmaan onnistuneelle kosteudenhallinnalle on, että rakentamisen kaikki osapuolet, aina tavarantoimittajista vastaaviin työnjohtajiin ja urakoitsijoihin, ovat tietoisia kosteudenhallintasuunnitelman sisällöstä. Osapuolet tulee tarvittaessa sopimusteknisesti velvoittaa noudattamaan suunnitelmaa (Suomen Rakennusinsinöörien liitto 2011, 95–101).

Rakenteiden kuivumisaika-arviot ovat olennainen osa kosteudenhallintaa. Hankkeen alussa tehdystä arviosta hahmottuu konkreettisesti, miten kauan mikäkin rakenneosa tarvitsee kuivumisaikaa ja miten kuivuminen vaikuttaa muihin työvaiheisiin: esimerkiksi betonirakenteiden pinnoitustöitä voidaan alkaa tekemään vasta rakenteiden kuivettua alle kriittisen kosteusarvon.

Kosteusmittausuunnitelmalla on tärkeä rooli seurattaessa kuivumisaika-arvioiden toteutumista. Rakenteiden kuivamisen alettua tulisi sisäilman olosuhteet aina mitata ja seurantamittauksia tehdä säännöllisin väliajoin: tällä varmistutaan siitä, että kuivumisaajan arvioinnissa käytetyt olosuhteet vastaavat todellisia. Mikäli olosuhteet poikkeavat oleellisesti arvioiduista, tulee rakenteiden kuivumisaika arvioida uudestaan, ja tarvittaessa muuttaa kuivumisolosuhteita. Pelkkä arvio kuivumisajasta ei riitä, vaan rakenteen päällystettävyydestä tulee aina varmistua rakennekosteusmittausten avulla (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto 2011, 99–101).

Kosteudenhallinta tulisi aina pystyä hahmottamaan kokonaisuutena: se ei koostu pelkistä kosteusmittauksista tai erityisohjeiden noudattamisista. Kaikkien osapuolien sitoutuksessa kosteudenhallintasuunnitelman toteuttamiseen myös virheiden todennäköisyys pienenee: esimerkiksi eristetoimittaja kiinnittää todennäköisesti enemmän huomiota tavarankuolelliseen toimittamiseen perille, eikä vain visko villapaketteja työmaan reunalle. Kosteudenhallinta ei yleensä merkittävästi lisää työmaan kustannuksia, vaan virheiden vähentyessä kokonaiskustannukset saattavat jopa pienentyä. Kosteudenhallinta on ennemminkin tahto- kuin kustannuskysymys.

3.4 Lämmönläpäisykertoimien kehitys

Lämmönläpäisykertoimien, eli U-arvojen, kehitys on viime vuosien osalta ollut merkittävän suurta. Taulukossa 3 on esitetty yhteenveto vuosina 2003, 2007 ja 2010 voimaan tulleiden lämmönläpäisykertoimien vähimmäisvaatimukset. Taulukon oikeassa laidassa on esitetty kunkin kertoimen prosentuaalinen pieneneminen vuoden 2003 tasoon nähden. Alalaidassa on esitetty kertoimien muutoksen keskiarvo.

Taulukko 3. Lämmönläpäisykertoimien kehitys vuosina 2003–2010 (Rakentamismääräyskokoelma 2003, 2007 ja 2010).

Rakenne	RAKMK C3: VAATIMUKSET LÄMMÖNLÄPÄISYKERTOIMILLE RAKENNEOSAITAIN [W/m ² K]			MUUTOS 2003 - 2010 [%]
	2003	2007	2010	
- Ulkoseinä	0,25	0,24	0,17	32
- Yläpohja ja ulkoilmaan rajoittuva alapohja	0,16	0,15	0,09	44
- Ryömintätilaan rajoittuva alapohja, tuuletusaukot enintään 8 % alapohjan pinta-alasta	0,20	0,19	0,17	15
- Maata vasten oleva rakennusosa	0,25	0,24	0,16	36
- Ikkuna, ovi	1,4	1,4	1,0	29
- Kattoikkuna	1,5	1,5	1,0	33
			KA=	31 %

Taulukosta nähdään, että lämmönläpäisyvaatimukset ovat keskimäärin kiristyneet yli 30 prosenttia vuosien 2003–2010 aikana. Yläpohjan osalta vaatimusten kiristyminen on ollut merkittäväntä: lämmönläpäisykerroin on pienentynyt vuodesta 2003 peräti 44 prosenttia. Ulkoseinän osalta kerroin on pienentynyt 32 %. Jos U-arvovaatimuksia käsitel-

lään rakenteissa, jossa pääasiallisena lämmöneristeenä on mineraalivilla, yläpohjan eristepaksuus on kasvanut keskimäärin 220 mm ja ulkoseinän eristepaksuus keskimäärin 85 mm (laskettuna keskimääräisellä mineraalivillan λ_d -arvolla 0,045 mK/W, huomioon otettu vain eristeen osuus).

Useiden asiantuntijoiden mielestä lämmöneristysvaatimukset ovat kiristyneet liian nopeasti. Toteutuspuolella ei riittävän hyvin ymmärretä, mikä vaikutus eristepaksuuksien kasvamisella on rakenteen rakennusfysikaaliseen toimintaan: etenkin ilmatiiveyden merkitys rakenteen toimimiselle on kasvanut olennaisesti. Ei siis ole mikään ihme, että rakennusvirheiden todennäköisyyden oletetaan tulevaisuudessa kasvavan.

4 Työssä käytetty kosteustekninen mallinnusohjelmisto

Dof lämpö on suomalaisen D. O. F Tech Oy:n kehittämä rakennusfysikaalinen mallinnusohjelmisto, jolla voidaan arvioida rakenteen lämpö- ja kosteuskäyriä, rakenteisiin kondensoituvan veden määrää, rakenteiden lämmönläpäisykertoimia (U-arvo) sekä rakenteen energiankulutusta. Ohjelmiston uusin päivitysversio on Dof lämpö 2.2 (D. O. F Tech Oy 2012, 3).

Ohjelmisto on suunniteltu rakenteiden mallinnukseen, josta johtuen se on mallinnustyökaluna helppokäyttöinen. Ohjelman materiaalikirjastoista löytyy kattavasti mm. materiaalien ominaisuustiedot ja keskimääräiset vuotuiset lämpötilat eri paikkakunnilla. Mallin luonti tapahtuu valitsemalla materiaalikirjastosta eri rakennekerrosten paksuudet ja materiaalit, jonka jälkeen valitaan mallinnusolosuhteet ulko- ja sisäilman osalta (suhteellinen kosteus, lämpötila). Tämän jälkeen ohjelmisto laskee halutut tiedot automaattisesti. Tuloksina ohjelma ilmoittaa rakenteen U-arvon, kosteus- ja lämpötilajakauman ja mahdollisesti rakenteeseen kondensoituvan veden määrän grammoina neliömetriä kohden.

Ohjelman heikkouksina voidaan pitää sen 1-ulotteisuutta: liitoskohtia tai nurkkarakenteita ei ohjelmistolla voi mallintaa. Ohjelma tekee myös joitain perusolettamuksia, eikä riittävän tarkasti ota huomioon esimerkiksi kylmäsiltojen vaikutusta kokonaisuuteen.

5 Laskentateoria

5.1 Terminen paine-ero

Lämpötilaerosta sisä- ja ulkoilman välillä aiheutuu rakennukseen ns. terminen paine-ero, joka luo rakennuksen alaosiin alipaineen ja yläosiin yläpaineen. Tilanteessa, jossa sisä- ja ulkoilman väliseen paine-eroon eivät vaikuta ilmanvaihto tai tuuli, asettuu neutraaliakseli teoreettisesti rakennuksen korkeuden puoliväliin (Björkholtz 1990, 20).

Termisen paine-eron laskennallisella arvioinnilla pyritään tässä työssä selvittämään, millainen paine-ero ulko- ja sisäilman välisestä lämpötilaerosta muodostuu. Työssä pyritään selvittämään sellaisia talvirakennusaikaisia olosuhteita, jolloin paine-eroon eivät vaikuta ilmanvaihto- tai tuuliolosuhteet.

Lämpötila-erosta aiheutuvan paine-eron suuruus lasketaan seuraavan kaavan avulla (Björkholtz 1990, 20):

$$\Delta p = 0,043 \times \Delta t \times h \text{ (Pa)} \quad (\text{kaava 1})$$

missä

$$\Delta p = \text{ilmanpaine} - \text{eron suuruus sisä} - \text{ja ulkoilman välillä}$$

$$\Delta t = \text{sisä} - \text{ja ulkolämpötilojen ero (}^{\circ}\text{C)}$$

$$h = \text{neutraaliakselin korkeus (m)}$$

5.2 Reiän kautta virtaava ilmamäärä

Reiän kautta virtaavan ilmamäärän laskennalla pyritään tässä työssä selvittämään, kuinka paljon ilmaa virtaa rakennuksesta ulospäin avonaisten tuuletusikkunoiden kautta. Tätä kautta pystytään karkeasti arvioimaan, kuinka suuri on rakennuksen ilmanvaihtuvuus rakennusaikaisissa olosuhteissa: siis kuinka monta kertaa tunnissa rakennuksen koko ilmatilavuus vaihtuu.

Konvektion mukanaan kuljettamien ilmamäärien suuruutta on käytännössä mahdotonta arvioida tarkkaan. Karkeasti ilmamäärän suuruutta voidaan arvioida seuraavan kaavan avulla (Björkholtz 1990, 17):

$$Q = 0,8 \times A\sqrt{(\Delta p)} \quad (\text{kaava 2})$$

missä

$$Q = \text{reiän kautta virtaava ilmamäärä } \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right)$$

$$A = \text{reiän pinta – ala } (\text{m}^2)$$

$$\Delta p = \text{reiän yli vaikuttava ilmanpaine – ero } (\text{Pa})$$

5.3 Sisäilman kosteus

Sisäilman kosteuspitoisuuden laskennallisella arvioinnilla pyritään tässä opinnäytetyössä selvittämään, millaiset kosteusolosuhteet rakennuksen sisällä vallitsevat talviaikaisissa olosuhteissa. Arvioidut olosuhteet perustuvat siihen, kuinka suuri kosteustuotto sisätiloissa on, kuinka suuri rakennus on ja kuinka usein koko ilmamäärä rakennuksessa vaihtuu.

Teoreettisen tarkastelun perusteella saadaan selville, millaiset kosteusolosuhteet rakennuksen sisällä rakennusaikana vallitsevat. Saatuja laskentatuloksia sisäilman suhteellisen kosteuspitoisuuden osalta käytetään lähtöarvoina rakenteiden kosteus- ja lämpötekniisessä mallinnuksessa.

Sisäilman kosteuspitoisuuteen vaikuttavat seuraavat seikat (Björkholtz 1990, 29):

- ulkoilman kosteuspitoisuus
- rakennuksen vaipan sisäpuolinen kosteustuotto
- järjestetyn ilmanvaihdon suuruus

Edellä mainittujen kosteuslähteiden välillä vallitsee seuraava yhtälö (Björkholtz 1990, 29):

$$v_s = v_u + G/(n \times V) \quad (\text{kaava 3})$$

missä

$$v_s = \text{vesihöyrypitoisuus sisällä } \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)$$

$$G = \text{kosteustuotto sisällä } \left(\frac{\text{kg}}{\text{h}}\right)$$

$$n = \text{ilmanvaihtuvuus tunnissa } \left(\frac{1}{h}\right)$$

$$V = \text{tuuletetun tilan tilavuus (m}^3\text{)}$$

5.4 Homeen kasvun malli

Homeen kasvun matemaattisella tarkastelulla pyrittiin tässä työssä selvittämään, kuinka nopeasti homeen kasvu rakenteissa alkaa, kun olosuhteet kasvulle ovat suotuisat. Tarkastelun tavoitteena oli selvittää rakenteen kosteus- ja mikrobivaurioitumisherkkyttä: kuinka nopeasti rakenne alkaa kosteuden vaikutuksesta homehtua. Laskentamalli osoittaa sen ajan, joka homeen kasvun alkamiseen viikkoina kuluu.

Homeen kasvun alkamiseksi tarvittavaa kriittistä aikaa sahapintaaisella mäntypuulla voidaan arvioida seuraavan kaavan avulla (Hukka & Viitanen 1999, 475–485):

$$t_m = \exp(-0,68 \ln T - 13,9 \ln RH + 66,02) \quad (\text{kaava 4})$$

missä

$$t = \text{homeen kasvun alkamiseen tarvittava aika (vko)}$$

$$T = \text{lämpötila (}^{\circ}\text{C)}$$

$$RH = \text{suhteellinen kosteus (\%)}$$

6 Mallinnettavien rakenteiden ja mallinnusolosuhteiden valinta

6.1 Mallinnettavat rakenteet

Kosteusteknisen mallinnuksen osalta työ päätettiin rajata ulkoseinärakenteisiin, koska muiden rakenneosien vaurioalttiuden arviointi olisi ollut vaikeata. Ylä- ja alapohjarakenteissa todettujen vaurioalttiiden rakenteiden vaurioitumismekanismi perustui pääasiassa puutteelliseen tuulettuvuuteen: rakenteiden mallintaminen käytössä olevilla ohjelmistoilla olisi käytännössä ollut mahdotonta. Viistosateen aiheuttamaa kosteuskuormitusta tai puutteellisen tuulettuvuuden aiheuttamaa kosteusvaurioitumisherkkyyttä on käytännössä erittäin vaikeaa arvioida luotettavasti.

Kirjallisuuskatsauksen ja haastattelukyselyn perusteella mallinnettavaksi rakenteeksi valittiin kuvan 5 kaltainen ulkoseinärakenne, jossa osa lämmönerityksestä jää höyrynsulkumuovin sisäpuolelle. Rakenteen kosteus- ja lämpötekniistä käyttäytymistä tutkitaan käyttöolosuhteiden lisäksi rakennusaikaisissa olosuhteissa. Laskennallisesti ko. ulkoseinärakennetyypin kosteus- ja lämpötekniistä toimintaa on helppo tarkastella, koska kosteusvaurioitumismekanismi perustuu nimenomaan vesihöyryn osapaineen muutoksiin (diffuusio): käytetty mallinnusohjelmisto tarkastelee rakenteen käyttäytymistä materiaalien vesihöyrynläpäisevyyksien ja lämmönjohtavuuksien kautta.

Höyrynsulun sisäpuolelta osittainen eristetyissä ulkoseinärakenteissa on havaittu käytännön toteutusvaiheessa merkittäviä kosteusvaurioita: sisäilman kosteus on kondensoitunut höyrynsulkumuovin sisäpintaan ja vaurioittanut eriste- ja koolausrakenteita. Vauriot ovat usein johtaneet siihen, että sisäpuoliset rakenteet (eristeet, koolaukset, sisäverhouslevyt) on jouduttu vaihtamaan uusiin.

Rakennetyyppejä mallinnettiin erilaisilla eristepaksuuksilla ja materiaaleilla. Tuulensuojamateriaaleiksi valittiin Gyproc Oy:n tuulensuojakipsilevy GTS 9 mm ja Suomen Kuitulevy Oy:n valmistamat puukuituiset Tuulileijona (12 mm) ja Runkoleijona (25 mm) -levyt. Eristemateriaaliksi valittiin tyypillinen mineraalivilla Isover KL 37. Lasi- ja kivivillojen välillä ei mallinnusohjelman tarkastelussa ole lähtöarvojen (lämmönjohtavuus ja vesihöyrynläpäisevyys) suhteen eroavaisuuksia, joten mallinnuksessa käytettiin vain yhtä eristemateriaalia. Taulukossa 4 on esitetty yhteenveto mallinnettavista rakenteista. Rakenteissa mahdollisesti esiintyviä kylmäsiltoja ei mallinnuksessa otettu huomioon.

Taulukko 4. Yhteenveto mallinnettavista rakenteista.

	<i>sisäverhous</i>	<i>eriste</i>	<i>höyrynsulku</i>	<i>eriste</i>	<i>tuulensuoja</i>
Rakenne 1:	kipsilevy GN 13 mm	mineraalivilla 50 mm	PE -kalvo 0,2 mm	mineraalivilla 150 mm	kipsilevy GTS 9 mm
Rakenne 2:	kipsilevy GN 13 mm	mineraalivilla 50 mm	PE -kalvo 0,2 mm	mineraalivilla 150 mm	puukuitulevy Tuulileijona 12 mm
Rakenne 3:	kipsilevy GN 13 mm	mineraalivilla 50 mm	PE -kalvo 0,2 mm	mineraalivilla 150 mm	puukuitulevy Runkoleijona 25 mm
Rakenne 4:	kipsilevy GN 13 mm	mineraalivilla 50 mm	PE -kalvo 0,2 mm	mineraalivilla 200 mm	kipsilevy GTS 9 mm
Rakenne 5:	kipsilevy GN 13 mm	mineraalivilla 50 mm	PE -kalvo 0,2 mm	mineraalivilla 200 mm	puukuitulevy Tuulileijona 12 mm
Rakenne 6:	kipsilevy GN 13 mm	mineraalivilla 50 mm	PE -kalvo 0,2 mm	mineraalivilla 200 mm	puukuitulevy Runkoleijona 25 mm

6.2 Mallinnusolosuhteet

6.2.1 Rakennusaikaiset olosuhteet

Mallintaminen rakennusaikaisessa olosuhteissa tehdään talvirakentamisen osalta, koska rakenteen kosteusvaurioherkkyys on tällöin suurimmillaan. Olettamuksena on, että rakennuksen ulkovaippa on valmistunut, jonka jälkeen lämmitys aloitetaan tammikuun alussa. Huoneisto-alaltaan 150 neliömetrin ja tilavuudeltaan 450 kuutiometrin kokoinen pientalo sijaitsee Joensuussa. Sisäilman oletetaan pysyvän tarkasteluhetkellä vakiona, +20 °C:ssa.

Ulkoilman lämpötilan ja suhteellisen kosteuden arvoina käytetään Dof Lämpö – ohjelmiston säätietokannan arvoja Joensuun osalta tammikuun keskiarvoina: ulkoilman lämpötila -11,6 °C ja suhteellinen kosteus 87 RH- %.

Rakennuksessa ei rakennusaikana ole paine-eroa aiheuttavaa ilmanvaihtoa. Sisä- ja ulkoilman välille muodostuu tällöin vain lämpötilaeron aiheuttama termien paine-ero. Termisen paine-eron suuruutta voidaan arvioida kaava 1 avulla:

$$\Delta p = 0,043 \times \Delta t \times h \quad (\text{kaava 1})$$

$$\Delta p = (0,043 \times (20 - (-11,6)) \times 1,5) \text{ Pa}$$

$$\Delta p = 2,0 \text{ Pa}$$

Oletetaan, että lämmitys on juuri käynnistynyt ja rakenteet alkavat kuivamaan. Rakennuksen ilmanvaihdosta huolehtivat kaksi 600×600 mm tuuletusikkunaa (ikkuna-aukon koko n. 500×500), jotka ovat 30 mm raollaan. Toisesta ikkunasta virtaa korvausilmaa sisään ja toisesta ikkunasta poistuu kosteaa sisäilmaa ulospäin. Ikkunasta ulos virtaavaa ilmamäärää voidaan arvioida kaavan 2 avulla:

$$Q = 0,8 \times A \sqrt{(\Delta p)} \quad (\text{kaava 2})$$

$$Q = 0,8 \times (0,5 \times 0,03) \text{ m}^2 \times \sqrt{2,0 \text{ Pa}}$$

$$Q = 0,0170 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 61,09 \text{ m}^3/\text{h}$$

Rakennuksesta vaihtuvan sisäilman tilavuus on 450 m³, joten pelkästään tuuletusikkunoiden kautta ilmanvaihtuvuusluvaksi saadaan: 61,09 m³/h / 450 m³ = 0,14 1/h.

Tuuletusikkunoiden lisäksi ilmaa vaihtuu rakenteiden läpi virtaamalla. Kokemusperäisen tiedon mukaan rakennusten hallitsemattoman ilmanvaihdon eli vuotoilmavirtausten osuus on luokkaa $n_{50}/20$ (Leivo & Lindberg 2001, 20–21). Mikäli rakennuksen vaipan ilmanpitävyyttä ei tunneta, käytetään suunnitteluperusteena lukua $n_{50} = 4,0$ 1/h (Suomen rakentamismääräyskokoelma D5 2007, 21). Tällöin rakenteen vaipan läpi vaihtuu hallitsemattomasti ilmaa: $4,0$ 1/h/20 = 0,2 1/h.

Rakennuksen kokonaisilmanvaihtuvuus rakennusaikaisissa olosuhteissa saadaan laske-
malla ilmanvaihtuvuusluvut yhteen: $n = (0,14 + 0,2)$ 1/h = 0,34 1/h.

Rakennusaikana suurin kosteustuotto sisäilmaan tulee kuivavasta betonisesta alapohja-
rakenteesta. Betonirakenteen kuivumisnopeuden arvioidaan alussa olevan 9 g/m²×h (Björkholtz 1990, 26). Lisäksi rakennuksen vaipan sisäpuolisiin rakenneosiin on sitoutunut rakennekosteutta (mm. sisäverhouskipsilevyt, muuratut rakenteet, sisäpuoliset lämmöneristeet). Rakenteisiin sitoutuneen kosteuden määrää ja kuivumisnopeutta on käytännössä mahdotonta arvioida tarkasti, joten tässä työssä kuivumisnopeuden muiden rakenteiden osalta arvioidaan karkeasti olevan 3 g/m²×h.

Sisäilman kosteuspitoisuutta rakennusaikana voidaan arvioida kaavan 3 avulla. Kosteus-
tuotto sisäilmaan arvioidaan karkeasti olevan: $G = (9+3)$ g/m²×h = 12 g/m²×h. Tällöin sisäilman kosteuspitoisuudeksi saadaan:

$$v_s = v_u + G / (n \times V) \quad (\text{kaava 3})$$

$$v_s = 1,62 \text{ g/m}^3 + (12 \times 150 \text{ g/h}) / (0,34 \text{ 1/h} \times 450 \text{ m}^3)$$

$$v_s = 13,4 \text{ g/m}^3$$

Sisäilman lämpötilaksi oletetaan +20 °C, jossa ilman maksimivesihöyrypitoisuus $v_k = 17,28 \text{ g/m}^3$. Tällöin sisäilman suhteelliseksi kosteudeksi saadaan:

$$v_s/v_k = 13,4/17,28 = 0,78 = 78 \text{ RH- \%}$$

6.2.2 Käyttöolosuhteet

Käyttöolosuhteiden osalta rakenteet mallinnetaan Dof Lämpö – ohjelmiston säätietokannan osalta koko vuoden osalta. Ohjelma olettaa sisäilman kosteudeksi 50 RH- % läpi vuoden, jolloin varsinkin talviaikana ollaan ns. turvallisella puolella.

7 Rakenteiden kosteustekninen mallintaminen

7.1 Mallinnus käyttöolosuhteissa

Rakenteet mallinnettiin käyttöolosuhteissa Dof Lämpö – ohjelmiston vuoden lämpötila- ja kosteuspitoisuuskeskiarvoilla. Mallinnuksen perusteella rakenteen eristetilaan muodostuu kaikissa tapauksissa suurin suhteellinen kosteuspitoisuus tuulensuojalevyn ja villakerroksen väliseen rajapintaan. Taulukossa 5 on esitetty mallinnustulokset rakenteiden osalta.

Taulukko 5. Yhteenvedo mallinnustuloksista käyttöolosuhteissa

	Tammi-kesäkuu, eristetilan korkein suhteellisen kosteuden arvo						
	tammi	helmi	maalis	huhti	touko	kesä	keskiarvo
Rakenne 1	84,2	82,4	79,9	71,8	63,4	64,7	74,4
Rakenne 2	76,8	75,3	74,5	68,7	61,8	63,9	70,2
Rakenne 3	69,1	68,1	68,8	65,3	60,0	63,1	65,7
Rakenne 4	84,8	82,9	80,3	72,0	63,5	64,8	74,7
Rakenne 5	78,6	76,0	75,8	69,5	62,2	64,1	71,0
Rakenne 6	72,1	70,9	71,0	66,6	60,7	63,4	67,5
	Heinä-joulukuu, eristetilan korkein suhteellisen kosteuden arvo						
	heinä	elo	syys	loka	marras	joulu	keskiarvo
Rakenne 1	69,8	77,6	83,2	84,8	87,9	86,4	81,6
Rakenne 2	69,3	76,7	81,2	81,6	82,8	79,8	78,6
Rakenne 3	68,7	75,6	78,9	78,2	77,1	72,9	75,2
Rakenne 4	69,8	77,7	83,4	85,0	88,4	87,0	81,9
Rakenne 5	69,4	76,9	81,7	82,4	84,1	81,5	79,3
Rakenne 6	68,9	76,0	79,8	79,5	79,3	75,5	76,5

Tuloksista nähdään, että vuoden syyspuolella suhteellisen kosteuden arvot ovat rakenteissa selkeästi korkeampia: rakenteista riippuen ero kevät- ja syyskauden välillä on 7,2 – 9,5 prosenttiyksikköä. Syyskauden keskiarvoilla mitattuna vain rakenteet, joissa tuulensuojamateriaalina on 9 mm kipsilevy (rakenteet 1 ja 4), ylittävät homeen kasvun raja-arvona pidettävän 80 RH- %:n tason. Kuukausittaiset suurimmat suhteellisen kosteuden arvot ovat samaisissa rakenteissa 87,9 – 88,4 prosentin luokkaa.

Rakenteet, joissa tuulensuojamateriaalina on 12 mm Tuulileijona – levy (rakenteet 2 ja 5), toimivat vastaavia kipsilevyrakenteita paremmin. Suhteellisen kosteuden keskiarvot syyskaudella jäävät 78,6 – 79,3 prosenttiin, yksittäisten kuukausien osalta arvot jäävät 82,8 – 84,1 RH- %:n tasolle.

25 mm Runkoleijona – tuulensuojalevyillä varustetut rakenteet 3 ja 6 näyttävät kosteus- ja lämpöteknisiltä ominaisuuksiltaan toimivan selkeästi vertailujoukon parhaiten. Syyskauden keskiarvot jäävät tasolle 75,2 – 76,5 RH- %, ja yksittäisten kuukausien osalta rakenteet eivät ylitä 80 RH- prosentin raja-arvoa.

Eristepaksuuksia vertaillessa pienemmän eristepaksuuden (150+50 mm) omaavat rakenteet toimivat kaikissa tapauksissa lämpö- ja kosteusteknisiltä ominaisuuksiltaan paksumpia rakenteita (200+50 mm) paremmin. Erot eivät kuitenkaan muodostuneet merkittäviksi, vaan olivat 0,3 – 1,3 prosenttiyksikön luokkaa.

Tuulensuojamateriaaleilla näyttäisi olevan melko merkittävä vaikutus ulkoseinärakenteen kosteus- ja lämpötekniiseen toimintaan. Tuulensuojakipsilevyllä varustetut rakenteet ovat vertailujoukosta selkeimmin kosteusvaurioalttiit rakenteet. Puukuitupohjaisia levyjä käytettäessä kosteusvaurioitumisriski putoaa huomattavasti, mikä selittyy materiaalien suuresta erosta lämmönjohtavuusominaisuuksissa: puukuituisten Tuuli- ja Runkoleijona – levyjen lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo $\lambda_d = 0,052 \text{ W/m}^2\text{K}$, tuulensuojakipsilevyllä vastaava arvo on $0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$. Ero lämmönjohtavuuksissa materiaalien välillä on lähes viisinkertainen. Huomattavaa on myös, että kipsilevyn lämmönjohtavuusluku (0,25) on yli kaksinkertainen puun vastaavaan lukuun (0,12) nähden: nykykäsitteksen mukaisesti kun puurakennettakin pidetään eräänlaisena kylmäsiirtäjäeristekerroksessa.

7.2 Mallinnus rakennusaikaisissa olosuhteissa

Rakenteet mallinnettiin rakennusaikaisissa olosuhteissa yhden vuorokauden mittaisella ajanjaksolla, jolloin lämpötila sisällä oli +20 °C ja suhteellinen kosteuspitoisuus 78 RH- %. Ulkoilmalle käytettiin tammikuun keskiarvoja: lämpötila -11,6 °C ja suhteellinen kosteus 87,0 RH- %. Esimerkkirakennuksen huoneisto-ala on 150 m^2 , sisäkorkeus 3,0 m ja ulkoseinäpiirin pituus 50 m: tällöin ulkoseinäpinta-alaa on yhteensä $50 \times 3,0 \text{ m}^2 = 150 \text{ m}^2$.

Taulukossa 6 on esitetty yhteenveto mallinnustuloksista rakennusaikaisissa olosuhteissa. Taulukosta näkyy höyrynsulkumuovin sisäpintaan kondensoituvan kosteuden määrä yhtä seinäneliömetriä (grammoina), sekä 150 m^2 (litroina), kohden. Taulukossa on esitetty myös kondensoituvan kosteuden määrä, kun rakenne on ilman sisäverhouslevyä (tyypillinen rakennusvaihe, sisäpuolinen lämmöneristys asennetaan kauttaaltaan ennen

levytystä). Taulukossa on esitetty myös sisäilman suhteellisen kosteuden raja-arvo, jolloin rakenteeseen ei enää kondensoidu kosteutta.

Taulukko 6. Yhteenvedo mallinnustuloksista rakennusaikaisissa olosuhteissa.

Mallinnettava rakenne	Ehjä rakenne			Ei sisäverhouslevyä		
	Kondensoituvan kosteuden määrä vuorokaudessa		Kondensoitumisen raja-arvo	Kondensoituvan kosteuden määrä vuorokaudessa		Kondensoitumisen raja-arvo
	[g/m ²]	[l/150 m ²]		[g/m ²]	[l/150 m ²]	
Rakenne 1 U-arvo: 0,177	36,0	5,4	60	81,9	12,3	60
Rakenne 2 U-arvo: 0,171	34,0	5,1	60	77,2	11,6	60
Rakenne 3 U-arvo: 0,164	31,6	4,7	62	71,6	10,7	62
Rakenne 4 U-arvo: 0,143	24,1	3,6	66	53,9	8,1	66
Rakenne 5 U-arvo: 0,139	22,7	3,4	68	50,6	7,6	68
Rakenne 6 U-arvo: 0,134	20,9	3,1	68	46,6	7,0	68

Mallinnustuloksista nähdään, että kaikkiin rakenteisiin kondensoituu esimerkkitapauksen rakennusaikaisissa olosuhteissa kosteutta. Kosteus tiivistyy kaikissa tapauksissa höyrynsulkumuovin ja sisäpuolisen lämmöneristekerroksen rajapintaan. Eristepaksuuksiltaan ohuempiin ulkoseinärakenteisiin 1, 2 ja 3 tiivistyy selkeästi enemmän kosteutta,

kuin paksumpiin rakenteisiin 4, 5 ja 6: laskennallisesti 50 mm lisäys ulkopuoliseen eristekerrokseen vähentää kondensoituvan kosteuden määrää kolmanneksella. Kondensoituvan kosteuden määrä näyttäisi kaikkien rakenteiden osalta vähenevän lähes samassa suhteessa, ollen rakenteesta riippumatta 33–34 prosenttia.

Tuulensuojamateriaaleja vertailtaessa kipsilevyllisiin rakenteisiin kondensoituu eniten kosteutta. Kipsilevyyn verrattuna kondenssi vähenee Tuulileijonaan siirryttäessä keskimäärin 6 prosenttia ja Runkoleijonaan siirryttäessä keskimäärin 13 prosenttia. Tämä selittyy sillä, että höyrynsulun ulkopuolisen rakenteen lämmöneristävyys paranee puukuitulevyyn siirryttäessä: tällöin höyrynsulkumuovin ja sisäpuolisen lämmöneristekerroksen rajapinnan lämpötila nousee ja kondensoituvan kosteuden määrä pienenee.

Sisäverhouslevyllä on mallinnustuloksien perusteella erittäin suuri merkitys rakenteen kosteustekniseen toimintaan. Tilanteessa, jossa sisäverhouslevyä ei vielä rakenteeseen ole asennettu, on kondensoituvan kosteuden määrä keskimäärin 2,2 -kertainen valmiiseen rakenteeseen nähden, mallinnetusta rakenteesta riippumatta. Ero on valtava, sillä esimerkkinä olevan talon ulkoseiniin tiivistyy esim. rakenteen 1 kohdalla 5,4 litran sijaan 12,3 litraa vettä vuorokaudessa. Tämä johtuu siitä, että sisäverhouslevy muodostaa pääosan höyrynsulun sisäpuolisten rakenteiden vesihöyrynvastuksesta: mineraalivillan vesihöyrynläpäisevyysluku ($1,05 \times 10^{-10}$ kg/msPa) on 5,25 -kertainen GN sisäverhouskipsilevyn lukemaan ($2,0 \times 10^{-11}$ kg/msPa) nähden.

Huomattavaa on myös, että molemmissa mallinnetuissa tilanteissa (valmis rakenne ja rakenne ilman sisäverhouslevyä) kondensoitumisen raja-arvo pysyy vakiona. Tämä selittyy sillä, että tiivis sisäverhouskipsilevy vaikuttaa oleellisesti rakenteen kosteustekniseen käyttäytymiseen korkean vesihöyrynvastuksen johdosta, mutta rakenteen lämpötekniisiin ominaisuuksiin kipsilevy ei suuren lämmönjohtavuuden vuoksi juurikaan vaikuta. Kipsilevyn ollessa asennettuna sen läpi siis pääsee virtaamaan oleellisesti vähemmän vesihöyryä, mutta höyrynsulkumuovin ja sisäpuolisen lämmöneristekerroksen välisen rajapinnan lämpötila ei merkittävästi muutu.

Kondensoitumisen raja-arvo on pienimmillään rakenteen 1 kohdalla: sisäilman suhteellisen kosteuden tulee olla alle 60 RH- %, jottei kondensoitumista rakenteisiin pääse tapahtumaan. Korkein kondensoitumisen raja-arvo on rakenteen 6 osalla (68 RH- %), jonka U-arvo on myös vertailujoukon pienin.

8 Mallinnustulosten yhteenveto

8.1 Käyttöolosuhteet

Käyttöolosuhteissa rakenteet näyttäisivät toimivan pääasiassa hyvin. Teoreettisesti merkittävin kosteus- ja mikrobivaurioitumisriski kohdistuu tuulensuojakipsilevyillä tehtyihin rakenteisiin. Ko. rakenteissa eristetilän ja tuulensuojalevyn rajapinnassa suhteellisen kosteuden arvo pysyy etenkin syyskaudella pitkäjaksoisesti yli 80 RH- prosentoin. Mikrobikasvusto tarvitsee ravinteiden ja kosteuden lisäksi myös lämpöä: lämpötilan laskiessa alle 5 °C:n homeen kasvulle suotuisat olosuhteet huononevat oleellisesti (Lähdesmäki 2009, 220).

Parhaimmat olosuhteet homeen kasvulle muodostuu rakenteen 4 osalla syyskuussa, jolloin suhteellinen kosteus tuulensuojalevyn sisäpinnassa on 83,4 RH- % ja lämpötila 8,7 °C. Homeen kasvun alkamisen kriittistä aikaa voidaan kuvata kaavan 4 avulla seuraavasti:

$$t_m = \exp (-0,68 \ln T - 13,9 \ln RH + 66,02) \quad (\text{kaava 4})$$

$$t_m = \exp (-0,68 \ln 8,7 - 13,9 \ln 83,4 + 66,02)$$

$$t_m = 21 \text{ viikkoa}$$

Kuten tuloksesta nähdään, homeen kasvun alkamiselle tarvittava aika syksyisin on ko. olosuhteissa erittäin pitkä. Lokakuussa kuukauden keskilämpötila laskee jo alle 5 celsiusasteen, jolloin olosuhteet homeen kasvulle heikkenevät oleellisesti. Näin ollen voidaan todeta, ettei mallinnetuissa rakenteissa ole käyttöolosuhteissa merkittävää kosteus- ja mikrobivaurioitumisriskiä.

8.2 Rakennusaikaiset olosuhteet

Esimerkkitapauksen kaltaisissa rakennusaikaisissa olosuhteissa kaikkiin mallinnettuihin rakenteisiin kondensoitui runsaasti kosteutta.

Rakenteeseen on tiivistynyt kosteutta, joten rajapinnan suhteellisen kosteuden arvo on käytännössä 100 RH- %. Rakenteen kosteus- ja homevaurioitumisherkkyyttä voidaan arvioida kaavan 4 avulla seuraavasti:

$$t_m = \exp (-0,68 \ln T - 13,9 \ln RH + 66,02) \quad (\text{kaava 4})$$

$$t_m = \exp (-0,68 \ln 20 - 13,9 \ln 100 + 66,02)$$

$$t_m = 1 \text{ viikko}$$

Kuten tuloksesta nähdään, homeen kasvu rakenteen puuosissa alkaa jo viikon kuluttua kastumisesta. Vaikka kaavaa ei suoraan voida soveltaa esimerkiksi mineraalivillaan, antaa se selkeän kuvan rakenteen kosteusvaurioitumisesta. Huomattavaa kuitenkin on, että rakenteisiin kondensoituu kaikissa mallinnustapauksissa runsaasti kosteutta, joka imeytyy koolaus- ja eristerakenteisiin, sekä valuu seinän alaosaan. Rakenteen 1 tapauksessa tiivistyy valmiin rakenteen osalta viikon aikana 37,8 litraa kosteutta rakenteisiin. Tilanteessa, jossa sisäverhouslevyä ei ole asennettu, voi viikon aikana tiivistyä rakenteisiin yli 86 litraa kosteutta. Vesi kastelee sisäpuoliset rakenteet (mineraalivillat, koolaukset, sisäverhouslevyt), jotka pääsevät kosteusvaurioitumaan.

Kastuttuaan sisäverhouskipsilevy on erityisen herkkä mikrobivaurioitumaan. Kipsilevyn taustapaperin on tutkimuksissa todettu olevan erinomainen kasvualusta kosteusvaurio-mikrobeille. Terveydelle haitallisia toksiineja tuottavista mikrobeista mm. *Streptomyces griseus* – suvun aktinobakteerien on havaittu tuottavan voimakkaimpia solumyrkkyjä juuri kipsilevyn taustapinnalla kasvaessa. (Andersson, Koljalg, Mikkola, Peltola, Vuorio & Sarkinoja-Salonen 1999, 68).

Rakenteisiin syntyvien kosteus- ja mikrobivaurioiden laajuutta arvioitaessa tulee huomioida, että vauriot sijaitsevat tilojen käyttäjien kannalta kriittisimmässä mahdollisessa osassa, rakenteen sisäpinnassa. Syntyneet vauriot sijaitsevat tiiviin vaipparakenteen sisäpuolella, joten ne ovat käytännössä suorassa ilmayhteydessä sisäilmaan. Mikrobin itiöt ja niiden aineenvaihduntatuotteet pääsevät kulkeutumaan sisäilmaan, jolloin tilojen käyttäjille voi muodostua terveyshaittaa (Terveysuojelulaki 1994/763). Lähellä rakennuksen sisäpintaa olevat laajalti mikrobivaurioituneet rakenteet tulee yleensä pyrkiä poistamaan (Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL ry 2011, 163).

Olennaista mallinnustuloksissa on, että kondensoitumisen raja-arvo talviaikaisissa olosuhteissa on melko alhainen: esimerkiksi rakenteen 1 osalla tulisi sisäilman suhteellisen kosteuden laskea alle 60 RH- prosenttiin, ennen kuin kosteuden tiivistyminen rakenteisiin lakkaa. Voidaan arvioida, että sisäilman suhteellinen kosteus talviaikaisissa rakennusvaiheessa voi pysyä ko. arvon yläpuolella jopa kuukausia, mikäli riittävästä ilmanvaih-

dosta tai kosteudenpoistosta ei huolehdita. Rakenteiden 4-6 kaltaisia ulkoseiniä toteutetaan vielä nykyisinkin: ko. rakenteissa raja-arvona kondensoitumiselle tammikuisissa olosuhteissa voidaan pitää 66- 68 RH- prosentin tasoa. Kosteusvaurioitumisriski on siis olemassa vielä nykyisissäkin rakenteissa, mikä korostaa kosteudenhallinnan merkitystä rakennusaikana.

Laskennallisesti arvioituna voidaan osoittaa, kuinka pienistä asioista kosteudenhallinta rakennusaikana on kiinni. Jos sisäilman suhteellisen kosteuden raja-arvona pidetään 60 RH- prosenttia, ja ilmanvaihdon oletetaan toimivan pelkkien tuuletusikkunoiden kautta, tarvittava aukon koko voidaan laskea kaavojen 2 ja 3 avulla. Ensin lasketaan tarvittava ilmanvaihtuvuusluku n seuraavasti:

$$v_s = v_u + G / (n \times V) \quad (\text{kaava 3})$$

$$n = G / (V \times (v_s - v_u))$$

$$n = 1800 \text{ g/h} / (450 \text{ m}^3 \times (0,6 \times 17,28 - 1,62) \text{ g/m}^3)$$

$$n = 0,46 \text{ 1/h}$$

Rakennuksen sisäilman tulee vaihtua 0,46 kertaa tunnissa, eli tunnissa tulee vaihtua ilmaa: $0,46 \text{ 1/h} \times 450 \text{ m}^3 = 207 \text{ m}^3/\text{h}$. Tarvittavan aukon kokoa arvioidaan kaavan 2 avulla seuraavasti:

$$Q = 0,8 \times A \sqrt{(\Delta p)} \quad (\text{kaava 2})$$

$$A = Q / (0,8 \times \sqrt{(\Delta p)})$$

$$A = (207/3600 \text{ m}^3/\text{s}) / (0,8 \times \sqrt{2 \text{ Pa}})$$

$$A = 0,05 \text{ m}^2$$

Jos aukkoina toimivat samaiset 600×600 tuuletusikkunat (aukon koko 500×500 mm), riittää 100 mm raollaan olevat ikkunat täyttämään ilmanvaihtotarpeen rakennuksessa. Ikkunoita tarvitaan kaksi: toisesta virtaa korvausilmaa sisälle ja toisesta poistuu kosteata sisäilmaa ulos. Ikkunat tulisi olla sijoiteltu siten, että ne vaihtavat sisäilmaa koko rakennuksen osalta (esim. ristikkäiset nurkat).

Teoreettisessa tarkastelussa on kuitenkin paljon epäkohtia. Ensiksikin laskumenetelmä on karkea ja sillä voidaan vain suuntaa antavasti arvioida aukon kautta virtaavan ilman määrää (Björkholtz 1990, 17). Toiseksi kahden ikkunan kautta tapahtuva ilmanvaihto ei käytännössä vaihda tehokkaasti sisäilmaa koko rakennuksen osalta, vaan rakennukseen jää lukuisia tuuletuksen katve-alueita, joissa ilma ei vaihdu riittävästi ja suhteellinen kosteus pysyy korkeana. Katvealueita jää etenkin nurkkien alueille, jotka ovat lisäksi muita seinäpintoja herkempiä vaurioitumaan: nurkkien kohdalla rakenteen lämmöneristävyys on huonompi, mikä johtaa höyrynsulkumuovin pinnan viilenemiseen ja lisääntyvään kondensoitumiseen.

Käytännön rakennusvaiheessa kondensoitumisongelmaa on havaittu yleensä vain sisäpuolelta vaakaan koolattujen rakenteiden osalta. Sisäilman kosteuden on havaittu tiivistyvän etenkin koolausriman ja ulkoseinän runkotolpan risteyskohtaan. Tämä johtuu todennäköisesti siitä, että runkotolpan ja koolausriman risteyksessä on paikallinen kylmäsilta rakenne, jonka seurauksena höyrynsulkumuovin sisäpinta viilenee ja kondenssi lisääntyy. Koolausrima jää sisäpuolisen eristekerroksen keskelle kylmäsilta rakenteeksi. Ongelman on havaittu poistuvan silloin, kun sisäpuolinen koolaus on asennettu pystysuuntaisesti runkotolppaan kiinni: tällöin pistemäinen kylmäsilta häviää ja sisäilmasta pääsee johtumaan lämpöä koolausrimaan. Rakenne olisi siis suositeltavaa toteuttaa aina pystystyn koolattuna rakenteena.

Kosteudenhallinta on työmailla usein asennekysymys. Lämmityksen käynnistettyä ikkunoita pidetään yleensä ensimmäiset vuorokaudet auki, jonka jälkeen ne usein suljetaan vedon tunteen ja lämmitystarpeen pienentämiseksi. Käytännön toteutusvaiheessa ei ymmärretä, että rakennekosteuden poistuminen kestää yleensä useita kuukausia, ja että etenkin betonirakenteista vapautuu runsaasti kosteutta sisäilmaan useiden viikkojen ajan. Terveellisen ja turvallisen lopputuloksen kannalta kosteudenhallinnan piittaamattomuudesta voi olla tuhoisat seuraukset. Riittävän ilmanvaihdon järjestäminen rakennusaikana ei juuri vaikuta hankkeen kokonaiskustannukseen, mutta sen järjestämättä jättäminen voi johtaa vakaviin ja laajoihin kosteus- ja mikrobivaurioihin, joiden korjauskustannukset nousevat helposti suuriksi.

Yhteenvedona voidaan todeta, että turvallisın tapa toteuttaa höyrynsulun sisäpuolelta osittain lämmöneristetty ulkoseinärakenne on sisäilman riittävä kuivattaminen ennen sisäpuolisen eristeen asennusta. Rakennuksen höyrynsulkurakenne tehdään tiiviiksi, jonka jälkeen lämmitys aloitetaan. Sisäilman suhteellista kosteutta seurataan mittauksi-

en avulla, kunnes se on laskenut selkeästi alle 60 RH- %:n tason. Tämän jälkeen voidaan sisäpuolinen lämmöneristys suorittaa turvallisesti.

Kosteusolosuhteiden hallinnan kannalta oleellista olisi tehdä betonirakenteiden valutyöt mahdollisimman aikaisessa vaiheessa, mikäli siihen olosuhteiden puolesta on mahdollisuus. Mikäli alapohjajalatat valetaan jo perustusten teon jälkeen kesällä, pääsee rakenne kuivamaan tehokkaasti ulkoilmaan: tällöin kosteustuotto sisäilmaan on vaipparakenteen valmistuttua huomattavasti vähäisempää.

9 Pohdinta

Työ onnistui mielestäni kokonaisuuteen nähden hyvin. Suurimmaksi ongelmaksi työn toteuttamisessa muodostui sisällön rajaaminen. Tietoa haastattelukyselyssä, kirjallisuuskatsauksessa ja mallinnusvaiheessa kerääntyi valtavasti, joten työssä käsiteltävää sisältöä johtui pohtimaan pitkään.

Rakenteiden kosteusteknisessä mallintamisessa päätettiin työ rajata pelkästään ulkoseinärakenteisiin. Ulkoseinärakenteiden osalta päätettiin työ rajata vain ns. sisäpuolelta lisälämmöneristettyyn rakenteeseen. Tiiliverhotun, puurunkoisen, ulkoseinärakenteen kosteustekninen mallintaminen olisi ollut mielenkiintoista, mutta viistosateen ja heikon tuulettuvuuden mallintaminen ei käytössä olevilla ohjelmistoilla ollut mahdollista.

Rakennusaikaisen mallinnuksen suhteen päätettiin luoda olosuhteet, jotka omien kokemuksieni mukaan kuvaavat tyypillistä tilannetta pientalotyömaalla. Olosuhteet päätettiin selvittää laskennallisesti, koska tilastotietoa sisäilman kosteuspitoisuuksista rakennusaikana ei löytynyt. Vaikka tilanne on melko teoreettinen ja mallinnustuloksia voidaan tarkastella vain niissä olosuhteissa, antaa se mielestäni kuitenkin melko hyvän kuvan rakenteen kosteusvaurioitumisherkkyydestä. Tulokset osoittavat myös, kuinka pienistä ja mitättömäntuntuista asioista rakennusaikaisessa kosteudenhallinnassa oikeastaan on kysymys. Rakennusmiehen ajattelematon ikkunoiden sulkeminen voi johtaa helposti vakaviin kosteusvaurioihin.

Eniten kehitettävää työssä jäi mielestäni haastattelukyselyn osalta. Haastateltaville lähetetty kyselylomake oli aihekokonaisuuksiltaan melko sekainen, mikä osaltaan johti siihen, että vastaajat käsittelivät esimerkiksi vaurioalttiita rakenteita ja rakennusvirheitä sekaisin. Kyselylomakkeen luonti oli melko haastavaa, sillä tässä työssä etsittiin käytännössä vastauksia kysymyksiin, joiden vastauksia ei ennakolta pystynyt tietämään: tästä johtuen esimerkiksi ”rasti ruutuun” – tyylisiä kohtia ei kyselylomakkeeseen pystynyt laatimaan.

Haastattelukysely lähetettiin yhteensä 85 henkilölle, mutta vastauksia saatiin vain 11 henkilöltä. Vastausprosentti jäi alhaiseksi, ollen vain 13 prosenttia. Koska vastauksia tuli vähän, tulee varsinkin vastauksien pohjalta laadittuihin yhteenvetotaulukoihin suhtautua tietyllä varauksella: esimerkiksi yksi vastaus muodostaa jo 9 % kaikista vastauksista.

Toivon, että työstä on hyötyä käytännön työkaluna, kun 2000 – luvulla rakennettujen pientalojen rakennusteknistä kuntoa kartoitetaan. Työ helpottaa myös ymmärtämään etenkin höyrynsulun sisäpuolelta osittain eristettyjen ulkoseinärakenteiden vaurioitumismekanismeja ja mahdolliseen vaurioitumiseen johtaneita syitä. Työssä esitetyt kosteusvaurioalttiit rakenteet eivät suinkaan aina ole vaurioituneita, vaan rakenteiden kunto tulee aina selvittää luotettavasti rakennusteknisin kuntotutkimuksin, kosteusmittauksin ja mikrobinäytteiden avulla.

Toivon myös, että tästä opinnäytetyöstä olisi hyötyä käytännön rakentamisvaiheeseen, tiedostamaan kosteudenhallintaan liittyviä riskejä. Työssä mallinnettuja ulkoseinärakenteita tehdään vuositasolla edelleen tuhansittain, joten rakennushankkeeseen ryhtyvien olisi syytä tiedostaa rakennusaikaiseen kosteusvaurioitumiseen liittyvä riski. Pienillä panostuksilla työmaan kosteudenhallintaan saadaan tehokkaasti ennalta ehkäistystä kosteus- ja mikrobivaurioita.

Haastattelukyselyn yhteenvetona kootut tyypilliset rakennusvirheet antavat suuntaa siitä, millaisia virheitä rakennuksista yleensä löytyy, ja mistä niitä kannattaa etsiä. Kyselyn tulokset kertovat osaltaan myös karua kieltä siitä, millaisia puutteita etenkin rakenteiden tiiveyteen ja kosteudenhallintaan pientalotyömailla liittyy. Rakennusterveys- ja kuntotutkimusalalla työskenteleville riittää siis todennäköisesti työsarkaa tulevaisuudessakin.

Lähteet

- Andersson, M. Koljalg, U. Mikkola, R. Peltola, J. Vuorio, R. Salkinoja-Salonen, M. 1999. Myrkylliset mikrobit sisätiloissa. Helsingin yliopisto. Soveltavan kemian ja mikrobiologian laitos. Helsinki.
- Asumisterveysohje. 2003. Sosiaali- ja terveysministeriö. Sosiaali- ja terveysministeriön oppaita 2003:1. Helsinki.
- Asumisterveysopas. 2009. Sosiaali- ja terveysministeriö. Ykkös-Offset Oy. Pori.
- Björkholtz, D. 1997. Lämpö ja kosteus, rakennusfysiikka. Rakennustieto Oy. Helsinki.
- Björkholtz, D. 1990. Rakennusten kuivattaminen. Suomen Rakennusteollisuusliitto r.y. Oy, Dick Björkholtz Consulting Ab ja Rakentajain Kustannus Oy. Helsinki.
- D. O. F. Tech Oy. 2003. Ohjekirja Dof Lämpö – ohjelmiston käyttöön.
- Kosteus- ja hometalkoot. 2012. Tunnista ja tutki riskirakenne: pientalojen riskirakenteet, vauriot ja vauriomekanismit, kuntotutkimusmenetelmät. Opetusministeriö. Ympäristöministeriö. Helsinki.
- Immonen, M. 2008. Paine-eron vaikutus ilmavuotokohdan ympäristön lämpötilaan. Insinööriyö. Helsingin ammattikorkeakoulu.
<http://urn.fi/URN:NBN:fi:stadia-1206442103-6>
- Kalamees, T. Kurnitski, J. Ilmavuotojen merkitys seinä- ja kattorakenteiden kosteusteknisessä toiminnassa. Rakennusfysiikka 2009. Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan laitos. Tampere 2009. ISBN978-952-15-2254-3
- Kovanen, K. Talotekniikan tutkimuspäällikkö. Suomen Sisäilmakeskus Oy. 29.3.2010.
- Kuopion alueellinen rakennusvalvonta. 2012. Pientalo-ohje. Kuopio
- Kurnitski, J. 2001. Väitöskirja. Humidity control in outdoor-air-ventilated crawl spaces in cold climate by means of ventilation, ground covers and dehumidification. Report A3. Teknillinen korkeakoulu. Espoo.
- Leivo, V. & Lindberg, R. 2001. Rakennusten lämmitysenergiankulutuksessa suuria säästömahdollisuuksia. Rakennustaito 4/2001, s. 20-21. Helsinki.
- Lähdesmäki, K. Salminen, K. Vinha, J. Strander, T. Viitanen, H. Paaajanen, L. Iitti, H. Ojanen, T. Peuhkuri, R. 2009. Homeen kasvu seinä- ja kattorakenteissa laboratorio- ja kenttäkokeissa. Rakennusfysiikka 2009, s. 229–238. Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan laitos. Tampere.
- Lähdesmäki, K. Ojanen, T. Peuhkuri, R. Viitanen, H. Vinha, J. 2009. Rakennusmateriaalien homeenkestävyys ja sen mallintaminen pysyvissä kosteusrasituksoloissa. Rakennusfysiikka 2009, s. 239–248. Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan laitos. Tampere.
- Maankäyttö- ja rakennusasetus 1999/895.
- Maankäyttö- ja rakennuslaki 1999/132.
- Merikallio, T. 2002. Betonirakenteiden kosteusmittaus ja kuivumisen arviointi. Betonikeskus ry. Gummerus Kirjapaino oy. Jyväskylä.
- Merikallio, T., Niemi S. ja Komonen. J. 2007. Betonilattiarakenteiden kosteudenhallinta ja päällystäminen. Betonitieto Oy 2007. ISBN: 978-952-5075-88-5.
- Pellinen, L. 2011. Ilmavuodon vaikutus vaipparakenteiden lämpö- ja kosteusolosuhteisiin. Opinnäytetyö, Saimaan Ammattikorkeakoulu 2011.
- Pirinen, J. 1999. Hyvän rakentamistavan mukainen pientalojen kosteuden hallinta eri vuosikymmeninä. Tampereen teknillinen yliopisto. Tampere 1999.
- Pohjois-Pohjanmaan korjausrakentamiskeskus. 2005. Tuulettuva kantava alapohja eli rossipohja. Korjausohjeita 31.2.2005. Oulu.
- Siikanen, U. 1996. Rakennusfysiikka, perusteet ja sovellukset. Helsinki. Rakennustieto Oy. ISBN: 952-682-340-8.

- Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 2011. Kosteudenhallinta ja homevaurioiden estäminen. Saarijärvi 2011. ISBN 978-951-758-537-8
- Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 2000. Rakennusten veden- ja kosteuden-eristysohjeet, RIL 107–2000.
- Suomen rakentamismääräyskokoelma C2. 1998. Kosteus, määräykset ja ohjeet. Ympäristöministeriö. Helsinki.
- Suomen rakentamismääräyskokoelma C3. 2003. Ympäristöministeriön asetus lämmöneristyksestä. Ympäristöministeriö. Helsinki.
- Suomen rakentamismääräyskokoelma C3. 2007. Ympäristöministeriön asetus lämmöneristyksestä. Ympäristöministeriö. Helsinki.
- Suomen rakentamismääräyskokoelma C3. 2010. Ympäristöministeriön asetus lämmöneristyksestä. Ympäristöministeriö. Helsinki.
- Suomen rakentamismääräyskokoelma D5. 2007. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta, ohjeet. Ympäristöministeriö. Helsinki.
- Terveystensuojelulaki 1994/763.
- Vinha, J. Valovirta, I. Korpi, M. Mikkilä, A. & Käkelä, P. 2005. Rakennusmateriaalien rakennusfysikaaliset ominaisuudet lämpötilan ja suhteellisen kosteuden funktiona. Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan osasto. Tampere. ISBN: 978-952-15-2745-6.
- Vinha, J. & Käkelä, P. 2007. Puurunkoisten ulkoseinien kosteustekninen toiminta Suomen ilmasto-olosuhteissa. Tampereen teknillinen yliopisto. Tampere.

Hei!

Olen 4. vuoden rakennustekniikan opiskelija Pohjois-Karjalan Ammattikorkeakoulussa. Olen tekemässä opinnäytetyönäni tutkimusta kosteusteknisistä riskirakenteista ja tyyppivirheistä 2000-luvulla rakennetussa suomalaisessa pientalokannassa.

Olenaisena osana työtäni on rakennus- ja kuntotutkimusalan ammattilaisille suunnattu asiantuntijakysely, jolla pyritään selvittämään tiedossa olevia yleisimpiä riskirakenteita ja rakennusvirheitä, sekä niistä aiheutuneita sisäilmaongelmia. Työn toimeksiantajana toimii Suomen Sisäilmakeskus Oy.

Toivoisin, että vastaisit kyselyyni. Kyselyyn vastaaminen on helppoa: voit vastata suoraan tämän kyselyn pohjalle, kunkin kysymyksen alapuolelle. Mikäli tila ko. kysymyksen kohdalla ei riitä, voit jatkaa vastausta lomakkeen viimeisille sivuille.

Kun olet valmis, painat vain lähetä lomake – painiketta sivun ylälaidasta! Vastaukset ohjautuvat automaattisesti oikeaan sähköpostiosoitteeseen.

Saatuja tietoja käsitellään luottamuksellisesti, eikä vastaajien tietoja julkaista.

Pyydän, että vastaisitte kyselyyn pe 16.3.2012 mennessä. Kaikkien vastanneiden kesken arvotaan kaksi kappaletta s-ryhmän ravintolalahjakortteja (á 60 €)!

PS. Mikäli tiedät 2000 – luvun riskirakenteita käsitteleviä kirjallisuuslähteitä, tai haluat lähettää esim. aiheeseen liittyviä rakenneleikkauskuvia, pyydän laittamaan ne liitetiedostoina sähköpostitse osoitteeseen jussi.mertanen@sisailmakeskus.fi. Otan mielelläni vastaan kaikkea aiheeseen liittyvää materiaalia.

1) *Kosteustekniset riskirakenteet 2000- luvulla rakennetuissa pientaloissa. Millaisia riskirakenteita olet (rakennusosittain) havainnut? Mikä rakenteesta tekee mielestäsi riskirakenteen ja millainen mahdollinen vaurioitumismekanismi on?*

a. Ulkoseinärakenteet

b. Yläpohjarakenteet

c. *Alapohjarakenteet*

d. Muut, mitkä?

- 2) *Tyyppivirheet 2000-luvulla rakennetussa pientalokannassa. Millaisia tyypillisiä rakennusvirheitä olet kohdannut?*

- 3) *Rakennusaikainen kosteus. Rakenteet on yleensä suunniteltu kosteus- ja lämpöteknisesti toimivaksi rakennuksen käyttöolosuhteissa. Millaisia riskejä rakennusaikaiseen kosteuteen mielestäsi liittyy? Oletko kohdannut kosteusvaurioita, jotka todennäköisesti ovat vaurioituneet rakennusaikaisen kosteuden seurauksena?*

- 4) *Kiristyneet energiamääräykset. Suomen rakennusmääräyskokoelmassa (RakMk C4) rakenteiden energiavaatimukset ovat merkittävästi kiristyneet 2000-luvulla.*

Miten näet kiristyneitten energiavaatimusten vaikuttaneen rakenteiden kosteusvaurioitumisherkkyyteen?

- 5) *Onko tiedossasi 2000-luvulla rakennettuja kohteita, joissa on kosteusvaurioitumisesta aiheutunut sisäilmaongelmia ja käyttäjille terveyshaittaa? Millaisia ongelmia on aiheutunut, kerro myös millaisiin korjaustoimenpiteisiin päädyttiin.*

- 6) *Toteutus ja valvonta. Etenkin pientalopuolella suuri osa kohteista toteutetaan edelleen ns. hartiapankkiperiaatteella, ja rakennusaikainen valvonta ei juuri ulotu asiakirjojen allekirjoittamista ja pakollisia katselmuksia syvemmälle.*

Kuinka merkittäväksi koet rakennusaikaisen valvonnan? Kuinka suuri osa rakennusvirheistä pystyttäisiin mielestäsi ehkäisemään tehokkaan rakennusaikaisen valvonnan avulla?

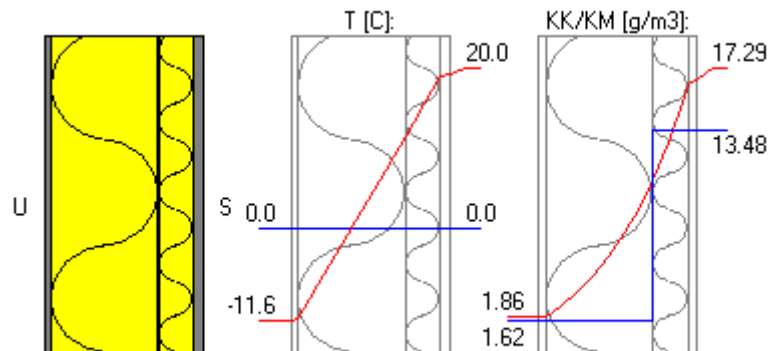
- 7) *Vapaa sana. Haluatko kommentoida 2000 – luvun riskirakenteisiin liittyen jotain aihetta, jota tässä kyselyssä ei otettu huomioon?*

Rakennuskohde:	Sisältö:	
Opinnäytetyö	Rakenne 1	
Suunnittelija:	Päiväys:	Tunnus:
Jussi Mertanen	23.5.2012	

Rakenteen päätiedot:

U-arvo: 0.177 W/m²K
 Paksuus: 222.250 mm
 Pinta-ala: 1.00 m²
 Paino: 26.44 kg
 Hinta: 0.00 euro

Vesihöyryn vastus: 1.397e+05 m²hPa/g
 Vesih. läpäisykerroin: 7.157e-06 g/m²hPa
 Lämmönvastus: 5.664 m²K/W
 Pintavastus, ulko: 0.040 m²K/W
 Pintavastus, sisä: 0.130 m²K/W
 Kulma (0-90): 90.000

**Rakenteen kerrostiedot:**

Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)

	KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHL [kg/msPa]	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:
1	Gyproc GTS 9	9.00	0.2500	2.000000e-11	0.00	800.00
2	ISOVER KL 37	150.00	0.0370	1.050000e-10	0.00	50.00
3	Höyrynsulkumuovi (Po	0.25	0.3300	5.000000e-16	0.00	920.00
4	ISOVER KL 37	50.00	0.0370	1.050000e-10	0.00	50.00
5	Gyproc GN 13	13.00	0.2500	2.000000e-11	0.00	693.00

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys

Lämpötilat ja kosteudet: Rakennusaikaiset olosuhteet, 1 (24.0 h)

Piste:	T [C]:	KK [g/m ³]:	KM [g/m ³]:	SK [%]:	C [g/m ²]:
U	-11.60	1.86	1.62	87.0	0.00
1	-11.38	1.90	1.62	85.3	0.00
2	-11.18	1.93	1.63	84.4	0.00
3	11.44	10.29	1.67	16.2	0.00
4	11.45	10.30	13.46	100.0	35.97
5	18.98	16.29	13.47	82.7	0.00
6	19.27	16.57	13.48	81.4	0.00
S	20.00	17.29	13.48	78.0	0.00

Tiivistymisvaara! (SK_max = 100.0 %)

T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

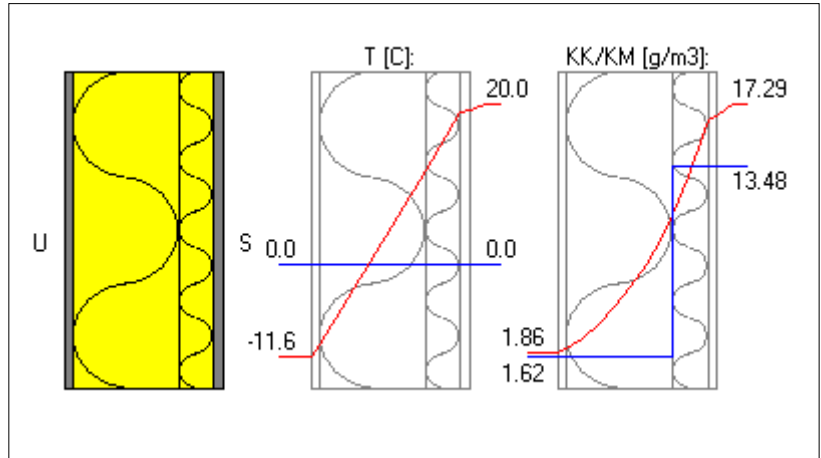
Lisätiedot:

Rakennuskohde: Opinnäytetyö	Sisältö: Rakenne 2	
Suunnittelija: Jussi Mertanen	Päiväys: 23.5.2012	Tunnus:

Rakenteen päätiedot:

U-arvo: 0.171 W/m²K
 Paksuus: 225.250 mm
 Pinta-ala: 1.00 m²
 Paino: 22.24 kg
 Hinta: 0.00 euro

Vesihöyryn vastus: 1.396e+05 m²hPa/g
 Vesih. läpäisykerroin: 7.163e-06 g/m²hPa
 Lämmönvastus: 5.859 m²K/W
 Pintavastus, ulko: 0.040 m²K/W
 Pintavastus, sisä: 0.130 m²K/W
 Kulma (0-90): 90.000

**Rakenteen kerrostiedot:**

Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)

	KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHL [kg/msPa]	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:
1	Tuulileijona 12 mm	12.00	0.0520	3.000000e-09	0.00	250.00
2	ISOVER KL 37	150.00	0.0370	1.050000e-10	0.00	50.00
3	Höyrynsulkumuovi (Po	0.25	0.3300	5.000000e-16	0.00	920.00
4	ISOVER KL 37	50.00	0.0370	1.050000e-10	0.00	50.00
5	Gyproc GN 13	13.00	0.2500	2.000000e-11	0.00	693.00

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys

Lämpötilat ja kosteudet: Rakennusaikaiset olosuhteet, 1 (24.0 h)

Piste:	T [C]:	KK [g/m ³]:	KM [g/m ³]:	SK [%]:	C [g/m ²]:
U	-11.60	1.86	1.62	87.0	0.00
1	-11.38	1.90	1.62	85.4	0.00
2	-10.14	2.11	1.62	76.8	0.00
3	11.73	10.48	1.65	15.8	0.00
4	11.73	10.48	13.46	100.0	34.00
5	19.02	16.32	13.47	82.5	0.00
6	19.30	16.59	13.48	81.3	0.00
S	20.00	17.29	13.48	78.0	0.00

Lisätiedot:**Tiivistymisvaara! (SK_max = 100.0 %)**

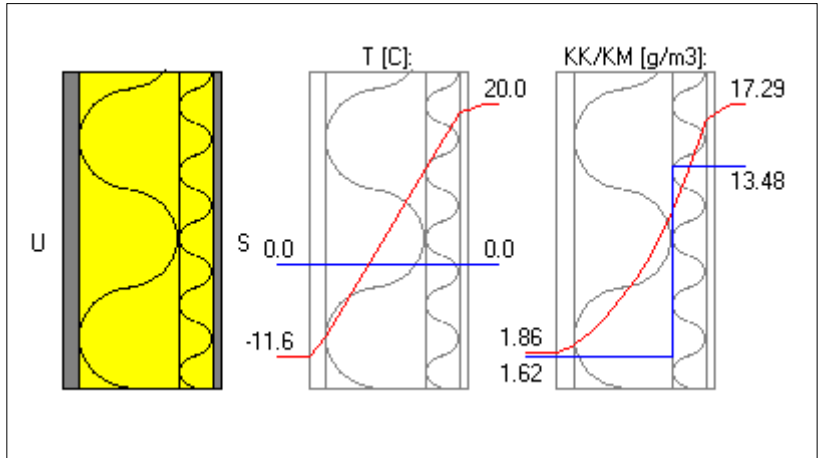
T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

Rakennuskohde: Opinnäytetyö	Sisältö: Rakenne 3	
Suunnittelija: Jussi Mertanen	Päiväys: 23.5.2012	Tunnus:

Rakenteen päätiedot:

U-arvo: 0.164 W/m²K
 Paksuus: 238.250 mm
 Pinta-ala: 1.00 m²
 Paino: 25.49 kg
 Hinta: 0.00 euro

Vesihöyryn vastus: 1.396e+05 m²hPa/g
 Vesih. läpäisykerroin: 7.163e-06 g/m²hPa
 Lämmönvastus: 6.109 m²K/W
 Pintavastus, ulko: 0.040 m²K/W
 Pintavastus, sisä: 0.130 m²K/W
 Kulma (0-90): 90.000

**Rakenteen kerrostiedot:**

Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)

	KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHL [kg/msPa]	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:
1	Runkoleijona 25 mm	25.00	0.0520	2.000000e-09	0.00	250.00
2	ISOVER KL 37	150.00	0.0370	1.050000e-10	0.00	50.00
3	Höyrynsulkumuovi (Po	0.25	0.3300	5.000000e-16	0.00	920.00
4	ISOVER KL 37	50.00	0.0370	1.050000e-10	0.00	50.00
5	Gyproc GN 13	13.00	0.2500	2.000000e-11	0.00	693.00

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys

Lämpötilat ja kosteudet: Rakennusaikaiset olosuhteet, 1 (24.0 h)

Piste:	T [C]:	KK [g/m ³]:	KM [g/m ³]:	SK [%]:	C [g/m ²]:
U	-11.60	1.86	1.62	87.0	0.00
1	-11.39	1.90	1.62	85.5	0.00
2	-8.91	2.34	1.62	69.1	0.00
3	12.06	10.70	1.66	15.5	0.00
4	12.07	10.71	13.46	100.0	31.61
5	19.06	16.36	13.47	82.3	0.00
6	19.33	16.62	13.48	81.1	0.00
S	20.00	17.29	13.48	78.0	0.00

Lisätiedot:**Tiivistymisvaara! (SK_max = 100.0 %)**

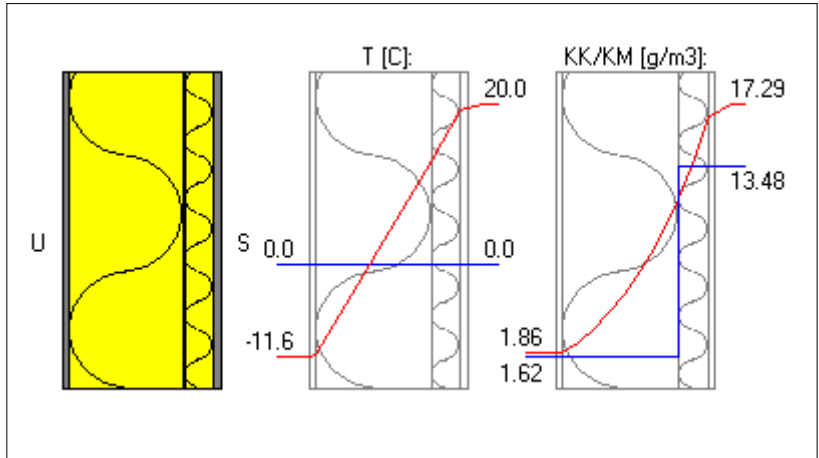
T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

Rakennuskohde: Opinnäytetyö	Sisältö: Rakenne 4	
Suunnittelija: Jussi Mertanen	Päiväys: 23.5.2012	Tunnus:

Rakenteen päätiedot:

U-arvo: 0.143 W/m²K
 Paksuus: 272.250 mm
 Pinta-ala: 1.00 m²
 Paino: 28.94 kg
 Hinta: 0.00 euro

Vesihöyryn vastus: 1.399e+05 m²hPa/g
 Vesih. läpäisykerroin: 7.150e-06 g/m²hPa
 Lämmönvastus: 7.016 m²K/W
 Pintavastus, ulko: 0.040 m²K/W
 Pintavastus, sisä: 0.130 m²K/W
 Kulma (0-90): 90.000

**Rakenteen kerrostiedot:**

Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)

	KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHL [kg/msPa]	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:
1	Gyproc GTS 9	9.00	0.2500	2.000000e-11	0.00	800.00
2	ISOVER KL 37	200.00	0.0370	1.050000e-10	0.00	50.00
3	Höyrynsulkumuovi (Po	0.25	0.3300	5.000000e-16	0.00	920.00
4	ISOVER KL 37	50.00	0.0370	1.050000e-10	0.00	50.00
5	Gyproc GN 13	13.00	0.2500	2.000000e-11	0.00	693.00

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys

Lämpötilat ja kosteudet: Rakennusaikaiset olosuhteet, 1 (24.0 h)

Piste:	T [C]:	KK [g/m ³]:	KM [g/m ³]:	SK [%]:	C [g/m ²]:
U	-11.60	1.86	1.62	87.0	0.00
1	-11.42	1.89	1.62	85.7	0.00
2	-11.26	1.92	1.63	85.0	0.00
3	13.09	11.41	1.68	14.7	0.00
4	13.09	11.41	13.46	100.0	24.07
5	19.18	16.47	13.47	81.8	0.00
6	19.41	16.70	13.48	80.7	0.00
S	20.00	17.29	13.48	78.0	0.00

Tiivistymisvaara! (SK_max = 100.0 %)

T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

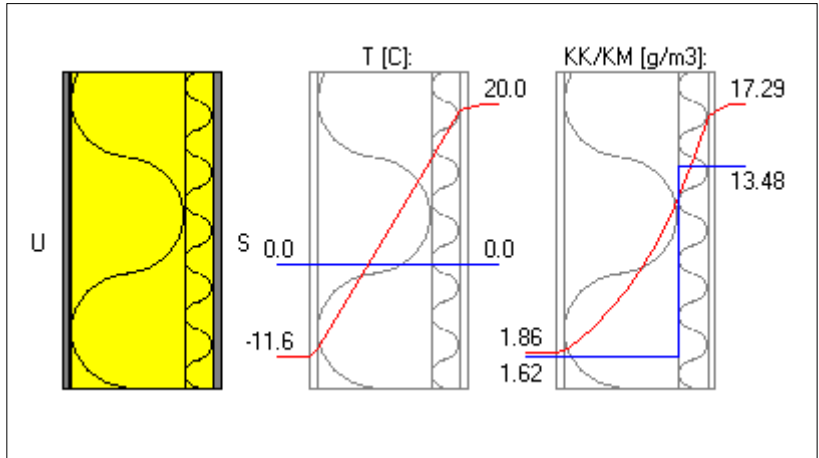
Lisätiedot:

Rakennuskohde:	Sisältö:	
Opinnäytetyö	Rakenne 5	
Suunnittelija:	Päiväys:	Tunnus:
Jussi Mertanen	23.5.2012	

Rakenteen päätiedot:

U-arvo: 0.139 W/m²K
 Paksuus: 275.250 mm
 Pinta-ala: 1.00 m²
 Paino: 24.74 kg
 Hinta: 0.00 euro

Vesihöyryn vastus: 1.397e+05 m²hPa/g
 Vesih. läpäisykerroin: 7.157e-06 g/m²hPa
 Lämmönvastus: 7.210 m²K/W
 Pintavastus, ulko: 0.040 m²K/W
 Pintavastus, sisä: 0.130 m²K/W
 Kulma (0-90): 90.000

**Rakenteen kerrostiedot:**

Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)

	KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHL [kg/msPa]	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:
1	Tuulileijona 12 mm	12.00	0.0520	3.000000e-09	0.00	250.00
2	ISOVER KL 37	200.00	0.0370	1.050000e-10	0.00	50.00
3	Höyrinsulkumuovi (Po	0.25	0.3300	5.000000e-16	0.00	920.00
4	ISOVER KL 37	50.00	0.0370	1.050000e-10	0.00	50.00
5	Gyproc GN 13	13.00	0.2500	2.000000e-11	0.00	693.00

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys

Lämpötilat ja kosteudet: Rakennusaikaiset olosuhteet, 1 (24.0 h)

Piste:	T [C]:	KK [g/m ³]:	KM [g/m ³]:	SK [%]:	C [g/m ²]:
U	-11.60	1.86	1.62	87.0	0.00
1	-11.42	1.89	1.62	85.7	0.00
2	-10.41	2.06	1.62	78.6	0.00
3	13.28	11.54	1.67	14.4	0.00
4	13.28	11.54	13.46	100.0	22.65
5	19.20	16.50	13.47	81.6	0.00
6	19.43	16.72	13.48	80.6	0.00
S	20.00	17.29	13.48	78.0	0.00

Lisätiedot:**Tiivistymisvaara! (SK_max = 100.0 %)**

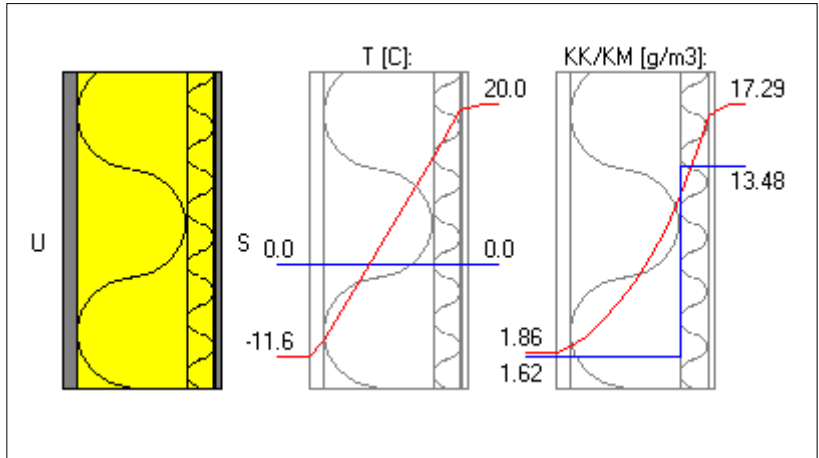
T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

Rakennuskohde:	Sisältö:	
Opinnäytetyö	Rakenne 6	
Suunnittelija:	Päiväys:	Tunnus:
Jussi Mertanen	23.5.2012	

Rakenteen päätiedot:

U-arvo: 0.134 W/m²K
 Paksuus: 288.250 mm
 Pinta-ala: 1.00 m²
 Paino: 27.99 kg
 Hinta: 0.00 euro

Vesihöyryn vastus: 1.397e+05 m²hPa/g
 Vesih. läpäisykerroin: 7.156e-06 g/m²hPa
 Lämmönvastus: 7.460 m²K/W
 Pintavastus, ulko: 0.040 m²K/W
 Pintavastus, sisä: 0.130 m²K/W
 Kulma (0-90): 90.000

**Rakenteen kerrostiedot:**

Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)

KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHL [kg/msPa]	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:
1 Runkoleijona 25 mm	25.00	0.0520	2.000000e-09	0.00	250.00
2 ISOVER KL 37	200.00	0.0370	1.050000e-10	0.00	50.00
3 Höyrinsulkumuovi (Po	0.25	0.3300	5.000000e-16	0.00	920.00
4 ISOVER KL 37	50.00	0.0370	1.050000e-10	0.00	50.00
5 Gyproc GN 13	13.00	0.2500	2.000000e-11	0.00	693.00

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys

Lämpötilat ja kosteudet: Rakennusaikaiset olosuhteet, 1 (24.0 h)

Piste:	T [C]:	KK [g/m ³]:	KM [g/m ³]:	SK [%]:	C [g/m ²]:
U	-11.60	1.86	1.62	87.0	0.00
1	-11.43	1.89	1.62	85.7	0.00
2	-9.39	2.25	1.62	72.1	0.00
3	13.50	11.70	1.67	14.2	0.00
4	13.51	11.70	13.46	100.0	20.92
5	19.23	16.52	13.47	81.5	0.00
6	19.45	16.74	13.48	80.6	0.00
S	20.00	17.29	13.48	78.0	0.00

Lisätiedot:**Tiivistymisvaara! (SK_max = 100.0 %)**

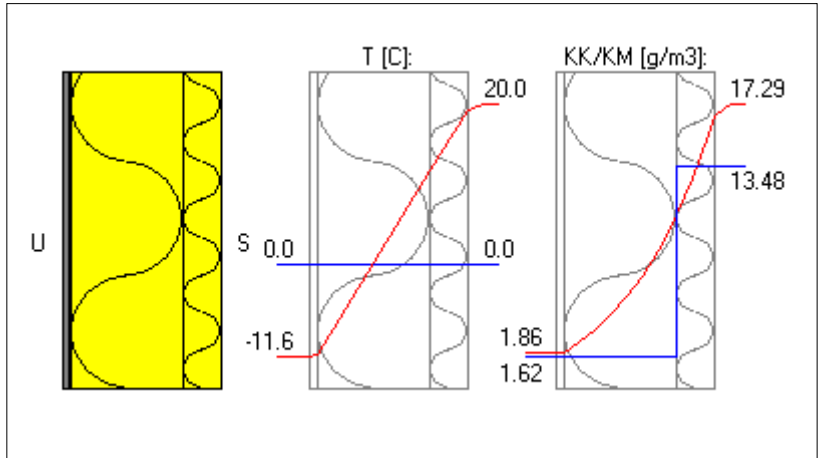
T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

Rakennuskohde: Opinnäytetyö	Sisältö: Rakenne 1, ei sisäverhousta	
Suunnittelija: Jussi Mertanen	Päiväys: 23.5.2012	Tunnus:

Rakenteen päätiedot:

U-arvo: 0.178 W/m²K
 Paksuus: 209.250 mm
 Pinta-ala: 1.00 m²
 Paino: 17.43 kg
 Hinta: 0.00 euro

Vesihöyryn vastus: 1.395e+05 m²hPa/g
 Vesih. läpäisykerroin: 7.166e-06 g/m²hPa
 Lämmönvastus: 5.612 m²K/W
 Pintavastus, ulko: 0.040 m²K/W
 Pintavastus, sisä: 0.130 m²K/W
 Kulma (0-90): 90.000

**Rakenteen kerrostiedot:**

Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)

	KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHL [kg/msPa]	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:
1	Gyproc GTS 9	9.00	0.2500	2.000000e-11	0.00	800.00
2	ISOVER KL 37	150.00	0.0370	1.050000e-10	0.00	50.00
3	Höyrynsulkumuovi (Po	0.25	0.3300	5.000000e-16	0.00	920.00
4	ISOVER KL 37	50.00	0.0370	1.050000e-10	0.00	50.00

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys

Lämpötilat ja kosteudet: Rakennusaikaiset olosuhteet, 1 (24.0 h)

Piste:	T [C]:	KK [g/m ³]:	KM [g/m ³]:	SK [%]:	C [g/m ²]:
U	-11.60	1.86	1.62	87.0	0.00
1	-11.37	1.90	1.62	85.3	0.00
2	-11.17	1.93	1.63	84.4	0.00
3	11.65	10.43	1.67	16.0	0.00
4	11.66	10.44	13.47	100.0	81.85
5	19.27	16.56	13.48	81.4	0.00
S	20.00	17.29	13.48	78.0	0.00

Tiivistymisvaara! (SK_max = 100.0 %)

T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

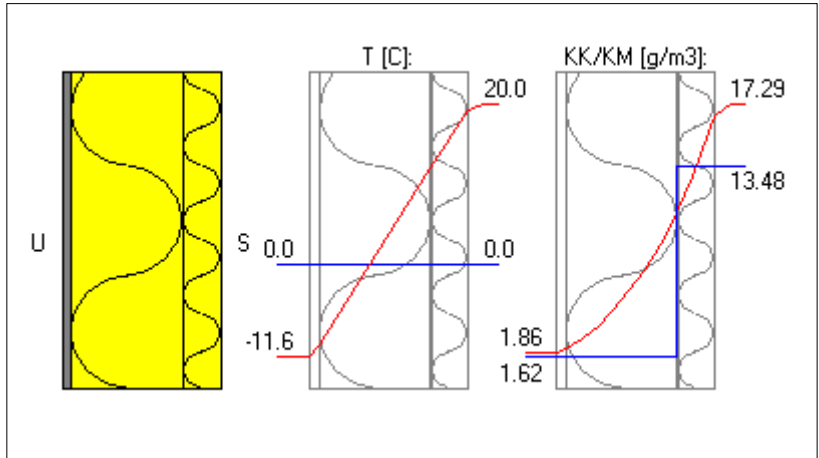
Lisätiedot:

Rakennuskohde: Opinnäytetyö	Sisältö: Rakenne 2, ei sisäverhousta	
Suunnittelija: Jussi Mertanen	Päiväys: 23.5.2012	Tunnus:

Rakenteen päätiedot:

U-arvo: 0.172 W/m²K
 Paksuus: 212.250 mm
 Pinta-ala: 1.00 m²
 Paino: 13.23 kg
 Hinta: 0.00 euro

Vesihöyryn vastus: 1.394e+05 m²hPa/g
 Vesih. läpäisykerroin: 7.173e-06 g/m²hPa
 Lämmönvastus: 5.807 m²K/W
 Pintavastus, ulko: 0.040 m²K/W
 Pintavastus, sisä: 0.130 m²K/W
 Kulma (0-90): 90.000

**Rakenteen kerrostiedot:**

Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)

	KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHL [kg/msPa]	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:
1	Tuulileijona 12 mm	12.00	0.0520	3.000000e-09	0.00	250.00
2	ISOVER KL 37	150.00	0.0370	1.050000e-10	0.00	50.00
3	Höyrynsulkumuovi (Po	0.25	0.3300	5.000000e-16	0.00	920.00
4	ISOVER KL 37	50.00	0.0370	1.050000e-10	0.00	50.00

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys

Lämpötilat ja kosteudet: Rakennusaikaiset olosuhteet, 1 (24.0 h)

Piste:	T [C]:	KK [g/m ³]:	KM [g/m ³]:	SK [%]:	C [g/m ²]:
U	-11.60	1.86	1.62	87.0	0.00
1	-11.38	1.90	1.62	85.4	0.00
2	-10.13	2.11	1.62	76.7	0.00
3	11.93	10.62	1.65	15.6	0.00
4	11.94	10.62	13.47	100.0	77.21
5	19.29	16.58	13.48	81.3	0.00
S	20.00	17.29	13.48	78.0	0.00

Lisätiedot:**Tiivistymisvaara! (SK_max = 100.0 %)**

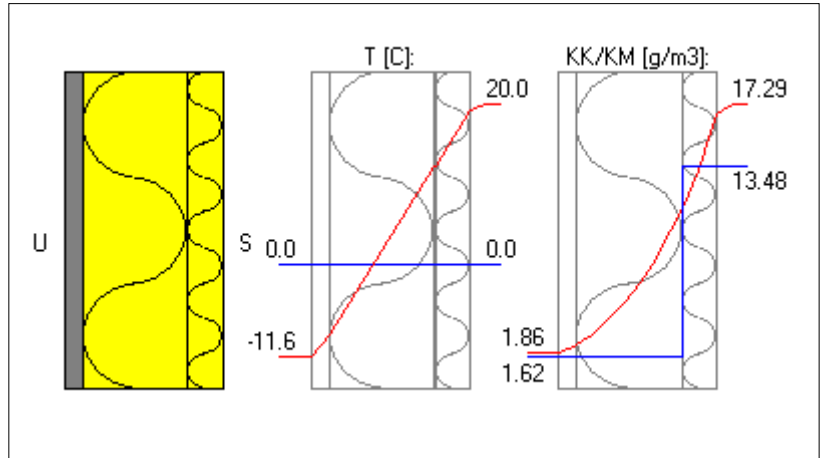
T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

Rakennuskohde: Opinnäytetyö	Sisältö: Rakenne 3, ei sisäverhousta	
Suunnittelija: Jussi Mertanen	Päiväys: 23.5.2012	Tunnus:

Rakenteen päätiedot:

U-arvo: 0.165 W/m²K
 Paksuus: 225.250 mm
 Pinta-ala: 1.00 m²
 Paino: 16.48 kg
 Hinta: 0.00 euro

Vesihöyryn vastus: 1.394e+05 m²hPa/g
 Vesih. läpäisykerroin: 7.172e-06 g/m²hPa
 Lämmönvastus: 6.057 m²K/W
 Pintavastus, ulko: 0.040 m²K/W
 Pintavastus, sisä: 0.130 m²K/W
 Kulma (0-90): 90.000

**Rakenteen kerrostiedot:**

Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)

	KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHL [kg/msPa]	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:
1	Runkoleijona 25 mm	25.00	0.0520	2.000000e-09	0.00	250.00
2	ISOVER KL 37	150.00	0.0370	1.050000e-10	0.00	50.00
3	Höyrynsulkumuovi (Po	0.25	0.3300	5.000000e-16	0.00	920.00
4	ISOVER KL 37	50.00	0.0370	1.050000e-10	0.00	50.00

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys

Lämpötilat ja kosteudet: Rakennusaikaiset olosuhteet, 1 (24.0 h)

Piste:	T [C]:	KK [g/m ³]:	KM [g/m ³]:	SK [%]:	C [g/m ²]:
U	-11.60	1.86	1.62	87.0	0.00
1	-11.39	1.90	1.62	85.4	0.00
2	-8.88	2.35	1.62	69.0	0.00
3	12.27	10.84	1.66	15.3	0.00
4	12.27	10.84	13.47	100.0	71.59
5	19.32	16.61	13.48	81.2	0.00
S	20.00	17.29	13.48	78.0	0.00

Tiivistymisvaara! (SK_max = 100.0 %)

T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

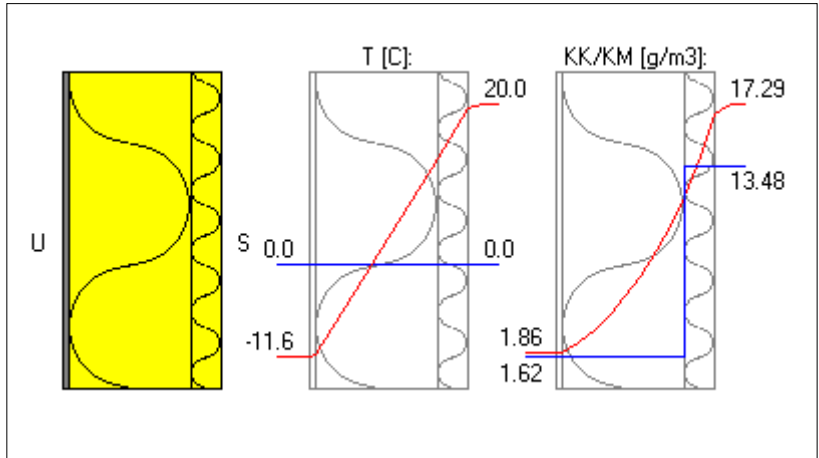
Lisätiedot:

Rakennuskohde: Opinnäytetyö	Sisältö: Rakenne 4, ei sisäverhousta	
Suunnittelija: Jussi Mertanen	Päiväys: 23.5.2012	Tunnus:

Rakenteen päätiedot:

U-arvo: 0.144 W/m²K
 Paksuus: 259.250 mm
 Pinta-ala: 1.00 m²
 Paino: 19.93 kg
 Hinta: 0.00 euro

Vesihöyryn vastus: 1.397e+05 m²hPa/g
 Vesih. läpäisykerroin: 7.159e-06 g/m²hPa
 Lämmönvastus: 6.964 m²K/W
 Pintavastus, ulko: 0.040 m²K/W
 Pintavastus, sisä: 0.130 m²K/W
 Kulma (0-90): 90.000

**Rakenteen kerrostiedot:**

Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)

	KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHL [kg/msPa]	Hinta [e/m3]:	Paino [kg/m3]:
1	Gyproc GTS 9	9.00	0.2500	2.000000e-11	0.00	800.00
2	ISOVER KL 37	200.00	0.0370	1.050000e-10	0.00	50.00
3	Höyrynsulkumuovi (Po	0.25	0.3300	5.000000e-16	0.00	920.00
4	ISOVER KL 37	50.00	0.0370	1.050000e-10	0.00	50.00

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys

Lämpötilat ja kosteudet: Rakennusaikaiset olosuhteet, 1 (24.0 h)

Piste:	T [C]:	KK [g/m3]:	KM [g/m3]:	SK [%]:	C [g/m2]:
U	-11.60	1.86	1.62	87.0	0.00
1	-11.42	1.89	1.62	85.6	0.00
2	-11.26	1.92	1.63	85.0	0.00
3	13.27	11.54	1.68	14.5	0.00
4	13.28	11.54	13.47	100.0	53.92
5	19.41	16.70	13.48	80.7	0.00
S	20.00	17.29	13.48	78.0	0.00

Tiivistymisvaara! (SK_max = 100.0 %)

T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

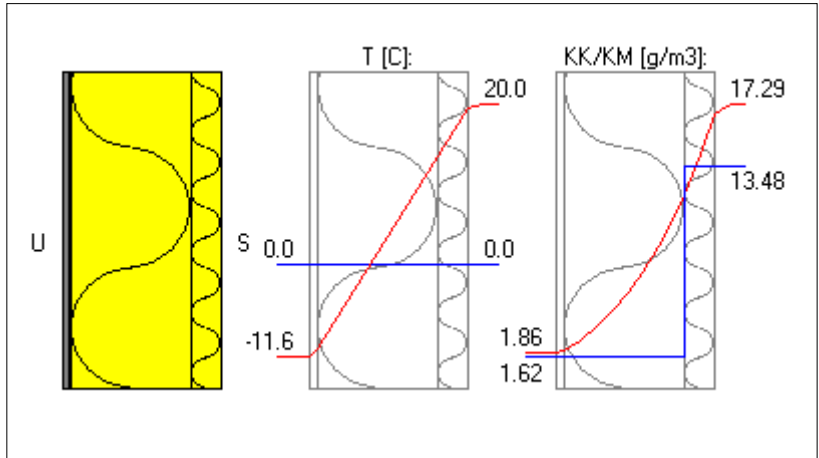
Lisätiedot:

Rakennuskohde: Opinnäytetyö	Sisältö: Rakenne 5, ei sisäverhousta	
Suunnittelija: Jussi Mertanen	Päiväys: 23.5.2012	Tunnus:

Rakenteen päätiedot:

U-arvo: 0.140 W/m²K
 Paksuus: 262.250 mm
 Pinta-ala: 1.00 m²
 Paino: 15.73 kg
 Hinta: 0.00 euro

Vesihöyryn vastus: 1.396e+05 m²hPa/g
 Vesih. läpäisykerroin: 7.166e-06 g/m²hPa
 Lämmönvastus: 7.158 m²K/W
 Pintavastus, ulko: 0.040 m²K/W
 Pintavastus, sisä: 0.130 m²K/W
 Kulma (0-90): 90.000

**Rakenteen kerrostiedot:**

Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)

	KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHL [kg/msPa]	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:
1	Tuulileijona 12 mm	12.00	0.0520	3.000000e-09	0.00	250.00
2	ISOVER KL 37	200.00	0.0370	1.050000e-10	0.00	50.00
3	Höyrinsulkumuovi (Po	0.25	0.3300	5.000000e-16	0.00	920.00
4	ISOVER KL 37	50.00	0.0370	1.050000e-10	0.00	50.00

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys

Lämpötilat ja kosteudet: Rakennusaikaiset olosuhteet, 1 (24.0 h)

Piste:	T [C]:	KK [g/m ³]:	KM [g/m ³]:	SK [%]:	C [g/m ²]:
U	-11.60	1.86	1.62	87.0	0.00
1	-11.42	1.89	1.62	85.7	0.00
2	-10.40	2.06	1.62	78.5	0.00
3	13.46	11.67	1.67	14.3	0.00
4	13.46	11.67	13.47	100.0	50.60
5	19.43	16.71	13.48	80.7	0.00
S	20.00	17.29	13.48	78.0	0.00

Tiivistymisvaara! (SK_max = 100.0 %)

T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

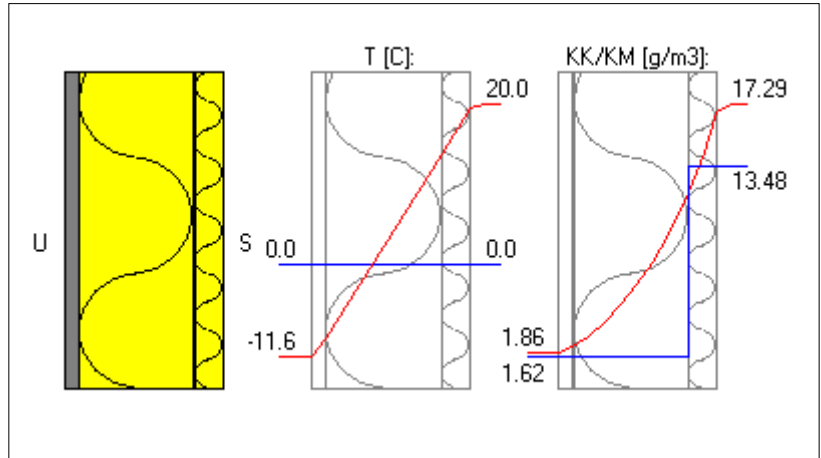
Lisätiedot:

Rakennuskohde: Opinnäytetyö	Sisältö: Rakenne 6, ei sisäverhousta	
Suunnittelija: Jussi Mertanen	Päiväys: 23.5.2012	Tunnus:

Rakenteen päätiedot:

U-arvo: 0.135 W/m²K
 Paksuus: 275.250 mm
 Pinta-ala: 1.00 m²
 Paino: 18.98 kg
 Hinta: 0.00 euro

Vesihöyryn vastus: 1.396e+05 m²hPa/g
 Vesih. läpäisykerroin: 7.166e-06 g/m²hPa
 Lämmönvastus: 7.408 m²K/W
 Pintavastus, ulko: 0.040 m²K/W
 Pintavastus, sisä: 0.130 m²K/W
 Kulma (0-90): 90.000

**Rakenteen kerrostiedot:**

Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)

	KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHL [kg/msPa]	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:
1	Runkoleijona 25 mm	25.00	0.0520	2.000000e-09	0.00	250.00
2	ISOVER KL 37	200.00	0.0370	1.050000e-10	0.00	50.00
3	Höyrynsulkumuovi (Po	0.25	0.3300	5.000000e-16	0.00	920.00
4	ISOVER KL 37	50.00	0.0370	1.050000e-10	0.00	50.00

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys

Lämpötilat ja kosteudet: Rakennusaikaiset olosuhteet, 1 (24.0 h)

Piste:	T [C]:	KK [g/m ³]:	KM [g/m ³]:	SK [%]:	C [g/m ²]:
U	-11.60	1.86	1.62	87.0	0.00
1	-11.43	1.89	1.62	85.7	0.00
2	-9.38	2.25	1.62	72.0	0.00
3	13.68	11.83	1.67	14.1	0.00
4	13.68	11.83	13.47	100.0	46.55
5	19.45	16.73	13.48	80.6	0.00
S	20.00	17.29	13.48	78.0	0.00

Tiivistymisvaara! (SK_max = 100.0 %)

T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

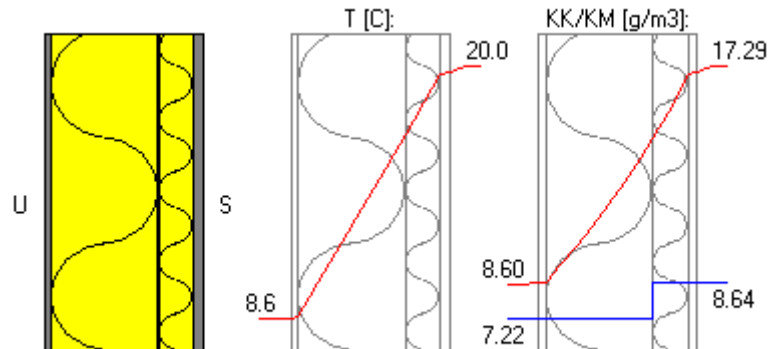
Lisätiedot:

Rakennuskohde: Opinnäytetyö	Sisältö: Rakenne 1, käyttöolosuhteet	
Suunnittelija: Jussi Mertanen	Päiväys: 28.5.2012	Tunnus:

Rakenteen päätiedot:

U-arvo: 0.177 W/m²K
 Paksuus: 222.250 mm
 Pinta-ala: 1.00 m²
 Paino: 26.44 kg
 Hinta: 0.00 euro

Vesihöyryn vastus: 1.397e+05 m²hPa/g
 Vesih. läpäisykerroin: 7.157e-06 g/m²hPa
 Lämmönvastus: 5.664 m²K/W
 Pintavastus, ulko: 0.040 m²K/W
 Pintavastus, sisä: 0.130 m²K/W
 Kulma (0-90): 90.000

**Rakenteen kerrostiedot:**

Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)

	KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHL [kg/msPa]	Hinta [e/m3]:	Paino [kg/m3]:
1	Gyproc GTS 9	9.00	0.2500	2.000000e-11	0.00	800.00
2	ISOVER KL 37	150.00	0.0370	1.050000e-10	0.00	50.00
3	Höyrynsulkumuovi (Po	0.25	0.3300	5.000000e-16	0.00	920.00
4	ISOVER KL 37	50.00	0.0370	1.050000e-10	0.00	50.00
5	Gyproc GN 13	13.00	0.2500	2.000000e-11	0.00	693.00

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys

Lämpötilat ja kosteudet:**Syyskuu (720.0 h)****Lisätiedot:**

Piste:	T [C]:	KK [g/m3]:	KM [g/m3]:	SK [%]:	C [g/m2]:
U	8.60	8.60	7.22	84.0	0.00
1	8.68	8.64	7.22	83.6	0.00
2	8.75	8.68	7.22	83.2	0.00
3	16.91	14.40	7.23	50.2	0.00
4	16.91	14.40	8.64	60.0	0.00
5	19.63	16.92	8.64	51.1	0.00
6	19.74	17.02	8.64	50.8	0.00
S	20.00	17.29	8.64	50.0	0.00

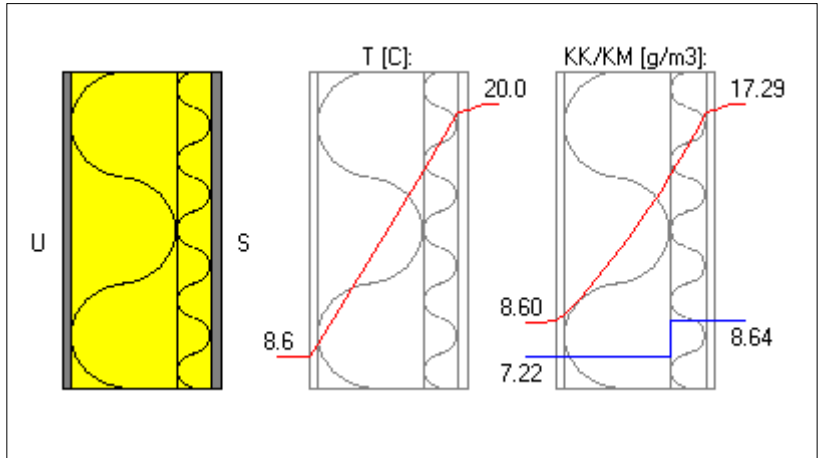
T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

Rakennuskohde: Opinnäytetyö	Sisältö: Rakenne 2, käyttöolosuhteet	
Suunnittelija: Jussi Mertanen	Päiväys: 28.5.2012	Tunnus:

Rakenteen päätiedot:

U-arvo: 0.171 W/m²K
 Paksuus: 225.250 mm
 Pinta-ala: 1.00 m²
 Paino: 22.24 kg
 Hinta: 0.00 euro

Vesihöyryn vastus: 1.396e+05 m²hPa/g
 Vesih. läpäisykerroin: 7.163e-06 g/m²hPa
 Lämmönvastus: 5.859 m²K/W
 Pintavastus, ulko: 0.040 m²K/W
 Pintavastus, sisä: 0.130 m²K/W
 Kulma (0-90): 90.000

**Rakenteen kerrostiedot:**

Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)

	KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHL [kg/msPa]	Hinta [e/m3]:	Paino [kg/m3]:
1	Tuulileijona 12 mm	12.00	0.0520	3.000000e-09	0.00	250.00
2	ISOVER KL 37	150.00	0.0370	1.050000e-10	0.00	50.00
3	Höyrynsulkumuovi (Po	0.25	0.3300	5.000000e-16	0.00	920.00
4	ISOVER KL 37	50.00	0.0370	1.050000e-10	0.00	50.00
5	Gyproc GN 13	13.00	0.2500	2.000000e-11	0.00	693.00

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys

Lämpötilat ja kosteudet:**Syyskuu (720.0 h)****Lisätiedot:**

Piste:	T [C]:	KK [g/m3]:	KM [g/m3]:	SK [%]:	C [g/m2]:
U	8.60	8.60	7.22	84.0	0.00
1	8.68	8.64	7.22	83.6	0.00
2	9.13	8.89	7.22	81.2	0.00
3	17.02	14.49	7.22	49.9	0.00
4	17.02	14.49	8.64	59.6	0.00
5	19.65	16.93	8.64	51.0	0.00
6	19.75	17.03	8.64	50.7	0.00
S	20.00	17.29	8.64	50.0	0.00

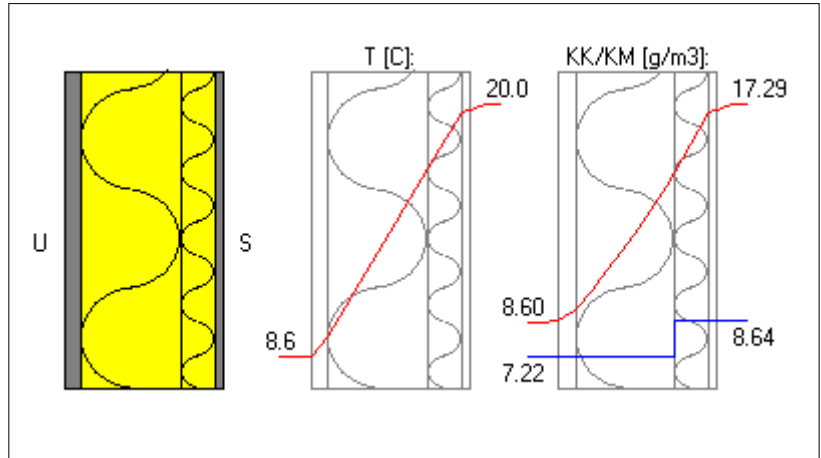
T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

Rakennuskohde: Opinnäytetyö	Sisältö: Rakenne 3, käyttöolosuhteet	
Suunnittelija: Jussi Mertanen	Päiväys: 28.5.2012	Tunnus:

Rakenteen päätiedot:

U-arvo: 0.164 W/m²K
 Paksuus: 238.250 mm
 Pinta-ala: 1.00 m²
 Paino: 25.49 kg
 Hinta: 0.00 euro

Vesihöyryn vastus: 1.396e+05 m²hPa/g
 Vesih. läpäisykerroin: 7.163e-06 g/m²hPa
 Lämmönvastus: 6.109 m²K/W
 Pintavastus, ulko: 0.040 m²K/W
 Pintavastus, sisä: 0.130 m²K/W
 Kulma (0-90): 90.000

**Rakenteen kerrostiedot:**

Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)

	KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHL [kg/msPa]	Hinta [e/m3]:	Paino [kg/m3]:
1	Runkoleijona 25 mm	25.00	0.0520	2.000000e-09	0.00	250.00
2	ISOVER KL 37	150.00	0.0370	1.050000e-10	0.00	50.00
3	Höyrynsulkumuovi (Po	0.25	0.3300	5.000000e-16	0.00	920.00
4	ISOVER KL 37	50.00	0.0370	1.050000e-10	0.00	50.00
5	Gyproc GN 13	13.00	0.2500	2.000000e-11	0.00	693.00

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys

Lämpötilat ja kosteudet:**Syyskuu (720.0 h)****Lisätiedot:**

Piste:	T [C]:	KK [g/m3]:	KM [g/m3]:	SK [%]:	C [g/m2]:
U	8.60	8.60	7.22	84.0	0.00
1	8.67	8.64	7.22	83.6	0.00
2	9.57	9.15	7.22	78.9	0.00
3	17.14	14.59	7.22	49.5	0.00
4	17.14	14.59	8.64	59.2	0.00
5	19.66	16.95	8.64	51.0	0.00
6	19.76	17.04	8.64	50.7	0.00
S	20.00	17.29	8.64	50.0	0.00

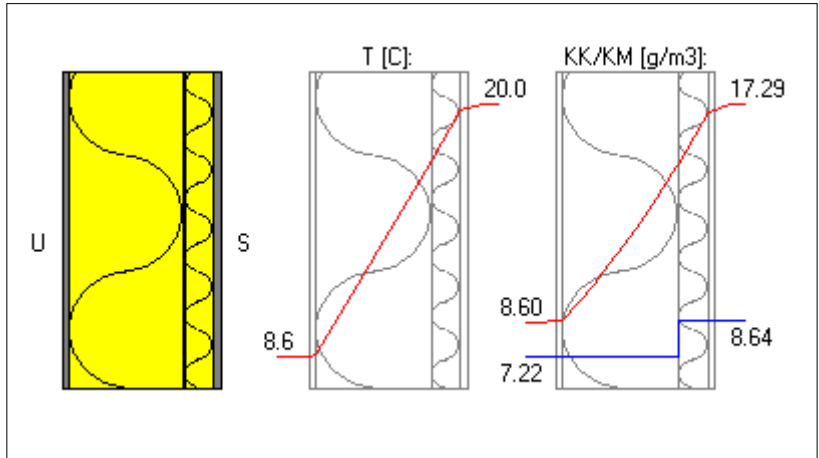
T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

Rakennuskohde: Opinnäytetyö	Sisältö: Rakenne 4, käyttöolosuhteet	
Suunnittelija: Jussi Mertanen	Päiväys: 28.5.2012	Tunnus:

Rakenteen päätiedot:

U-arvo: 0.143 W/m²K
 Paksuus: 272.250 mm
 Pinta-ala: 1.00 m²
 Paino: 28.94 kg
 Hinta: 0.00 euro

Vesihöyryn vastus: 1.399e+05 m²hPa/g
 Vesih. läpäisykerroin: 7.150e-06 g/m²hPa
 Lämmönvastus: 7.016 m²K/W
 Pintavastus, ulko: 0.040 m²K/W
 Pintavastus, sisä: 0.130 m²K/W
 Kulma (0-90): 90.000

**Rakenteen kerrostiedot:**

Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)

	KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHL [kg/msPa]	Hinta [e/m3]:	Paino [kg/m3]:
1	Gyproc GTS 9	9.00	0.2500	2.000000e-11	0.00	800.00
2	ISOVER KL 37	200.00	0.0370	1.050000e-10	0.00	50.00
3	Höyrynsulkumuovi (Po	0.25	0.3300	5.000000e-16	0.00	920.00
4	ISOVER KL 37	50.00	0.0370	1.050000e-10	0.00	50.00
5	Gyproc GN 13	13.00	0.2500	2.000000e-11	0.00	693.00

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys

Lämpötilat ja kosteudet:**Syyskuu (720.0 h)****Lisätiedot:**

Piste:	T [C]:	KK [g/m3]:	KM [g/m3]:	SK [%]:	C [g/m2]:
U	8.60	8.60	7.22	84.0	0.00
1	8.66	8.63	7.22	83.7	0.00
2	8.72	8.66	7.22	83.4	0.00
3	17.51	14.92	7.23	48.4	0.00
4	17.51	14.92	8.64	57.9	0.00
5	19.70	16.99	8.64	50.9	0.00
6	19.79	17.07	8.64	50.6	0.00
S	20.00	17.29	8.64	50.0	0.00

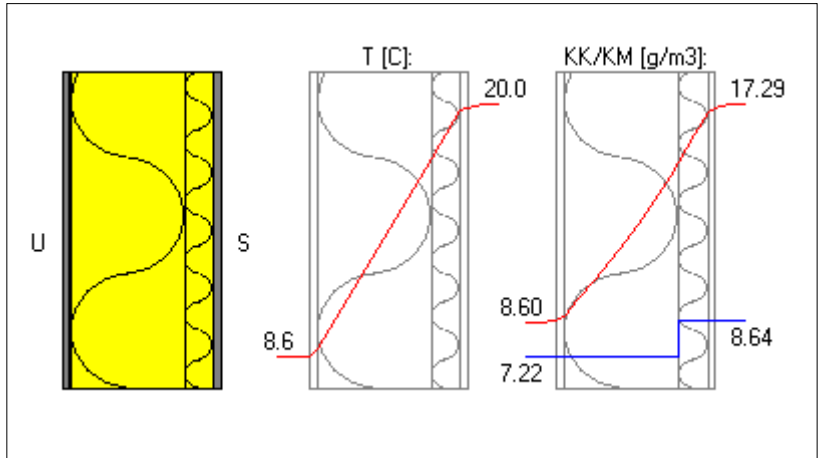
T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

Rakennuskohde: Opinnäytetyö	Sisältö: Rakenne 5, käyttöolosuhteet	
Suunnittelija: Jussi Mertanen	Päiväys: 28.5.2012	Tunnus:

Rakenteen päätiedot:

U-arvo: 0.139 W/m²K
 Paksuus: 275.250 mm
 Pinta-ala: 1.00 m²
 Paino: 24.74 kg
 Hinta: 0.00 euro

Vesihöyryn vastus: 1.397e+05 m²hPa/g
 Vesih. läpäisykerroin: 7.157e-06 g/m²hPa
 Lämmönvastus: 7.210 m²K/W
 Pintavastus, ulko: 0.040 m²K/W
 Pintavastus, sisä: 0.130 m²K/W
 Kulma (0-90): 90.000

**Rakenteen kerrostiedot:**

Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)

	KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHL [kg/msPa]	Hinta [e/m3]:	Paino [kg/m3]:
1	Tuulileijona 12 mm	12.00	0.0520	3.000000e-09	0.00	250.00
2	ISOVER KL 37	200.00	0.0370	1.050000e-10	0.00	50.00
3	Höyrynsulkumuovi (Po	0.25	0.3300	5.000000e-16	0.00	920.00
4	ISOVER KL 37	50.00	0.0370	1.050000e-10	0.00	50.00
5	Gyproc GN 13	13.00	0.2500	2.000000e-11	0.00	693.00

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys

Lämpötilat ja kosteudet:**Syyskuu (720.0 h)****Lisätiedot:**

Piste:	T [C]:	KK [g/m3]:	KM [g/m3]:	SK [%]:	C [g/m2]:
U	8.60	8.60	7.22	84.0	0.00
1	8.66	8.63	7.22	83.7	0.00
2	9.03	8.83	7.22	81.7	0.00
3	17.57	14.98	7.23	48.2	0.00
4	17.58	14.98	8.64	57.7	0.00
5	19.71	17.00	8.64	50.8	0.00
6	19.79	17.08	8.64	50.6	0.00
S	20.00	17.29	8.64	50.0	0.00

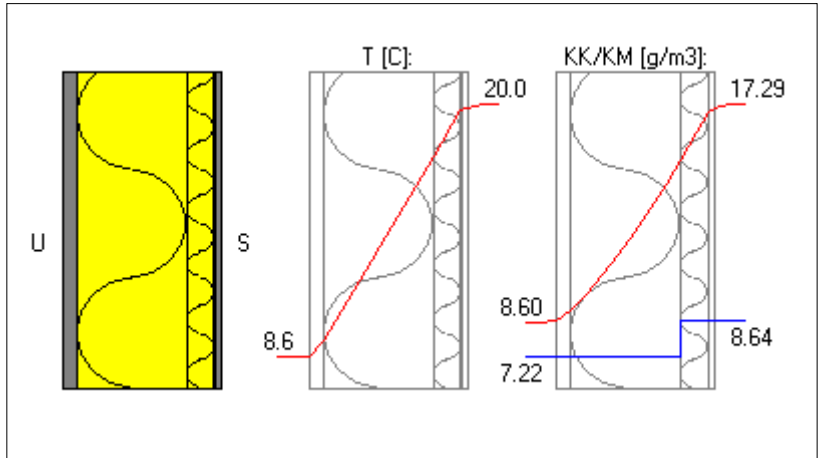
T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

Rakennuskohde: Opinnäytetyö	Sisältö: Rakenne 6, käyttöolosuhteet	
Suunnittelija: Jussi Mertanen	Päiväys: 28.5.2012	Tunnus:

Rakenteen päätiedot:

U-arvo: 0.134 W/m²K
 Paksuus: 288.250 mm
 Pinta-ala: 1.00 m²
 Paino: 27.99 kg
 Hinta: 0.00 euro

Vesihöyryn vastus: 1.397e+05 m²hPa/g
 Vesih. läpäisykerroin: 7.156e-06 g/m²hPa
 Lämmönvastus: 7.460 m²K/W
 Pintavastus, ulko: 0.040 m²K/W
 Pintavastus, sisä: 0.130 m²K/W
 Kulma (0-90): 90.000

**Rakenteen kerrostiedot:**

Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)

KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHL [kg/msPa]	Hinta [e/m3]:	Paino [kg/m3]:
1 Runkoleijona 25 mm	25.00	0.0520	2.000000e-09	0.00	250.00
2 ISOVER KL 37	200.00	0.0370	1.050000e-10	0.00	50.00
3 Höyrynsulkumuovi (Po	0.25	0.3300	5.000000e-16	0.00	920.00
4 ISOVER KL 37	50.00	0.0370	1.050000e-10	0.00	50.00
5 Gyproc GN 13	13.00	0.2500	2.000000e-11	0.00	693.00

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys

Lämpötilat ja kosteudet:**Syyskuu (720.0 h)****Lisätiedot:**

Piste:	T [C]:	KK [g/m3]:	KM [g/m3]:	SK [%]:	C [g/m2]:
U	8.60	8.60	7.22	84.0	0.00
1	8.66	8.63	7.22	83.7	0.00
2	9.40	9.04	7.22	79.8	0.00
3	17.66	15.05	7.23	48.0	0.00
4	17.66	15.05	8.64	57.4	0.00
5	19.72	17.01	8.64	50.8	0.00
6	19.80	17.09	8.64	50.6	0.00
S	20.00	17.29	8.64	50.0	0.00

T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

Ilman ominaisuuksia normaali-ilmakehän paineessa 101325 Pa

t °C	v_k g/m ³	p_k Pa	t °C	v_k g/m ³	p_k Pa	t °C	v_k g/m ³	p_k Pa
-20	0,88	102	14	12,10	1603	48	75,67	11207
-19	0,95	111	15	12,86	1708	49	79,33	11786
-18	1,04	122	16	13,65	1820	50	83,14	12390
-17	1,14	135	17	14,49	1939	51	87,10	13020
-16	1,25	149	18	15,37	2064	52	91,21	13677
-15	1,38	164	19	16,30	2197	53	95,48	14362
-14	1,52	181	20	17,28	2337	54	99,92	15075
-13	1,67	200	21	18,31	2484	55	104,52	15818
-12	1,83	221	22	19,40	2640	56	109,30	16592
-11	2,01	243	23	20,54	2805	57	114,25	17397
-10	2,20	266	24	21,74	2979	58	119,39	18234
-9	2,40	292	25	23,00	3162	59	124,72	19105
-8	2,61	319	26	24,32	3355	60	130,24	20010
-7	2,84	348	27	25,71	3559	61	135,95	20951
-6	3,08	379	28	27,17	3773	62	141,87	21928
-5	3,33	412	29	28,70	3999	63	147,99	22943
-4	3,60	447	30	30,31	4237	64	154,33	23997
-3	3,89	485	31	31,99	4487	65	160,88	25090
-2	4,19	524	32	33,75	4750	66	167,66	26224
-1	4,51	566	33	35,60	5027	67	174,67	27401
0	4,85	611	34	37,54	5317	68	181,90	28620
1	5,21	658	35	39,56	5622	69	189,38	29884
2	5,58	708	36	41,68	5943	70	197,11	31194
3	5,98	762	37	43,90	6279	71	205,08	32551
4	6,40	818	38	46,21	6631	72	213,31	33956
5	6,84	878	39	48,63	7001	73	221,80	35410
6	7,31	941	40	51,16	7388	74	230,56	36915
7	7,80	1008	41	53,79	7793	75	239,60	38472
8	8,32	1079	42	56,54	8218	76	248,91	40082
9	8,87	1154	43	59,41	8663	77	258,51	41747
10	9,45	1234	44	62,40	9128	78	268,40	43468
11	10,06	1318	45	65,52	9614	79	278,59	45247
12	10,71	1408	46	68,77	10122	80	289,08	47084
13	11,39	1502	47	72,15	10653			